



Ministerio de Agricultura



AUTORIDAD NACIONAL DEL AGUA

**MINISTERIO DE AGRICULTURA**  
**AUTORIDAD NACIONAL DEL AGUA - ANA**  
Dirección de Conservación y Planeamiento de Recursos Hídricos  
Área de Aguas Subterráneas

## **TAREA: 3.0 MEDIDAS PARA LA ADAPTACION AL CAMBIO CLIMATICO**

### **3.1 DIAGNOSTICO SITUACIONAL DE RECARGA DE ACUIFEROS**



Lima, Diciembre 2009



REPÚBLICA DEL PERÚ  
MINISTERIO DE AGRICULTURA  
**AUTORIDAD NACIONAL DEL AGUA**  
DIRECCIÓN DE CONSERVACIÓN Y PLANEAMIENTO DE LOS RECURSOS HÍDRICOS  
ADMINISTRACIÓN LOCAL DE AGUA ALTO PIURA - HUANCABAMBA



### PERSONAL DIRECTIVO

Abg. Francisco Palomino Garcia	Jefe del ANA
Ing°. Jorge Benites Agüero	Director de Conservación y Planeamiento de los Recursos Hídricos
Ing° Oscar Ávalos Sanguinetti	Jefe del Área de Aguas Subterráneas
Ing°. Emiliano Sifuentes	Administrador Local de Agua Chillón Rimac Lurin

### PERSONAL EJECUTOR

Ing°. Carmen R. Chamorro Bellido.	Profesional en Hidrogeología y Gestión Ambiental
-----------------------------------	--

### PERSONAL DE APOYO

Ing. José Coosi Mamani	Profesional en Geología
Ing. Sandra Salvatierra R.	Profesional SIG

---

**INDICE**

	Pág.
<b>1.0 INTRODUCCION</b> -----	1
<b>1.1 ANTECEDENTES</b> -----	1
<b>1.2 OBJETIVO</b> -----	1
<b>1.3 ÁMBITO</b> -----	2
<b>2.0 CONCEPTOS</b> -----	2
<b>2.1 DEFINICIONES</b> -----	2
<b>3.0 RECARGA DE ACUIFEROS</b> -----	4
<b>3.1 DEFINICION</b> -----	4
<b>3.2 RECARGA NATURAL</b> -----	4
3.2.1 Proceso de la recarga-----	4
3.2.2 Tipos de recarga-----	6
3.2.2.1 Cálculo de la recarga vertical (infiltración) a partir de la ecuación de balance-----	7
3.2.2.2 Cálculo de la entrada horizontal a partir de redes de flujo-----	7
3.2.3 Variables que intervienen en la recarga-----	8
3.2.3.1 Características de la precipitación-----	9
3.2.3.2 Estado de humedad del suelo previo a la precipitación-----	9
3.2.3.3 Características de la superficie, como condiciones de la cobertura vegetal, la Topografía y la densidad de drenaje-----	9
3.2.3.4 Características del suelo.-----	9
3.2.3.5 Características físicas y químicas del agua definición-----	9
3.2.3.6 Condiciones hidrogeológicas-----	10
3.2.4 Métodos de determinación de recarga natural-----	10
3.2.4.1 Lisímetros-----	10
3.2.4.2 Medidores químicos en zona no saturada-----	10
3.2.4.3 Medidores de cloruro en zona saturada-----	11
3.2.4.4 Ley de Darcy y métodos para calcular el balance hidrológicas-----	11
<b>3.3 RECARGA ARTIFICIAL</b> -----	13
3.3.1 Definición-----	13
3.3.2 Objetivo-----	13
3.3.3 Fuentes de agua para la recarga artificial-----	13
3.3.4 Métodos para la recarga artificial-----	14
3.3.4.1 Viabilidad y aspectos importantes a la hora de elegir sistema recarga-----	14
3.3.4.2 Tipo de acuíferos donde se puede hacer una recarga-----	14
3.3.4.3 Elementos de un proyecto de Recarga Artificial-----	15
3.3.4.4 Clases o tipos de recarga artificial-----	15
3.3.5 Ventajas de la técnica AR-----	17
3.3.6 Aplicaciones-----	18
3.3.7 Problemas técnicos que afecta la recarga artificial-----	18

<b>4.0 RECARGA DE ACUIFEROS EN EL PERU</b> -----	<b>18</b>
<b>4.1 EVALUACIÓN PRELIMINAR DE LAS CONDICIONES HIDROGEOLÓGICAS PARA RECARGA ARTIFICIAL DE 17 ACUÍFEROS</b> -----	<b>20</b>
4.1.1 Caracterización geológica e hidrogeológica del acuífero Zarumilla -----	22
4.1.2 Caracterización geológica e hidrogeológica del acuífero Tumbes-----	25
4.1.3 Caracterización geológica e hidrogeológica del acuífero Casitas -----	29
4.1.4 Caracterización geológica e hidrogeológica del acuífero Motupe -----	32
4.1.5 Caracterización geológica e hidrogeológica del acuífero Zaña-----	36
4.1.6 Caracterización geológica e hidrogeológica del acuífero Chicama-----	41
4.1.7 Caracterización geológica e hidrogeológica del acuífero Moche-----	45
4.1.8 Caracterización geológica e hidrogeológica del acuífero Nepeña-----	48
4.1.9 Caracterización geológica e hidrogeológica del acuífero Chancay Hualal-----	53
4.1.10 Caracterización geológica e hidrogeológica del acuífero Cañete -----	57
4.1.11 Caracterización geológica e hidrogeológica del acuífero Pisco -----	61
4.1.12 Caracterización geológica e hidrogeológica del acuífero Ica-----	64
4.1.13 Caracterización geológica e hidrogeológica del acuífero Nasca -----	68
4.1.14 Caracterización geológica e hidrogeológica del acuífero Chili -----	72
4.1.15 Caracterización geológica e hidrogeológica del acuífero Moquegua llo-----	76
4.1.16 Caracterización geológica e hidrogeológica del acuífero Sama -----	80
4.1.17 Caracterización geológica e hidrogeológica del acuífero Caplina-----	84
<b>4.2 RECARGA ARTIFICIAL INDUCIDA VALLEDEL RIO RÍMAC</b> -----	<b>90</b>
4.2.1 Antecedentes y Objetivo -----	90
4.2.2 Actividades para evaluación del proyecto piloto -----	90
4.2.3 Infraestructura de recarga del proyecto piloto -----	92
4.2.4 Características hidrogeológicas del acuífero -----	92
4.2.5 Evaluación de la recarga inducida-----	94
4.2.6 Evaluación actual del sistema de recarga artificial -----	96
<b>4.3 RECARGA ARTIFICIAL INDUCIDA VALLEDEL RIO CHILLÓN</b> -----	<b>97</b>
4.3.1 Antecedentes y Objetivo -----	97
4.3.2 Clima-----	97
4.3.3 Geografía -----	97
4.3.4 Hidrología rio Chillón-----	99
4.3.5 Aprovechamiento de las aguas superficiales -----	99
4.3.6 Hidrogeología-----	100
4.3.7Aprovechamiento de las aguas subterráneas -----	103
4.3.8 Evaluaciones sobre el sistema de recarga artificial inducida -----	103
4.3.9 Arreglo paisajista -----	106
4.3.10 Situación actual de la infraestructura de la recarga artificial -----	107
<b>4.4 DIAGNOSTICO SITUACIONAL DE RECARGA DEL ACUIFERO RIO SECO</b> -----	<b>108</b>
4.4.1 Introducción-----	108
4.4.2 Antecedentes -----	108
4.4.3 Planteamiento hidráulico general -----	108

---

4.4.4 Sistema de recarga -----	113
4.4.5 Planteamiento del proyecto de recarga artificial -----	114
4.4.6 Resultados -----	116

**5.0 CONCLUSIONES ----- 118**

5.1 RECARGA DEL ACUÍFERO RÍMAC -----	118
--------------------------------------	-----

5.2 RECARGA DEL ACUÍFERO CHILLÓN -----	119
--	-----

5.1 RECARGA DEL ACUÍFERO RIO SECO -----	120
---	-----

**6.0 RECOMENDACIONES ----- 121**

BIBLIOGRAFIA

---

## RELACION DE CUADROS

N°	DESCRIPCION	Pág.
1.0	Fuentes de agua para la recarga artificial-----	13
2.0	Cálculo de Reservas de aguas subterráneas en los valles costeros del Perú -----	19
3.0	Priorización preliminar de recarga e acuíferos en la costa del Peru -----	21
4.0	Resumen de características geológicas del acuífero Zarumilla -----	24
5.0	Resumen de características geológicas del acuífero Tumbes -----	28
6.0	Resumen de características geológicas del acuífero Casitas-----	30
7.0	Resumen de características geológicas del acuífero Motupe-----	35
8.0	Resumen de características geológicas del acuífero Zaña -----	40
9.0	Resumen de características geológicas del acuífero Chicama -----	44
10	Resumen de características geológicas del acuífero Moche-----	46
11	Resumen de características geológicas del acuífero Nepeña -----	51
12	Resumen de características geológicas del acuífero Chancay Huaral -----	56
13	Resumen de características geológicas del acuífero Cañete -----	60
14	Resumen de características geológicas del acuífero Pisco -----	63
15	Resumen de características geológicas del acuífero Ica-----	65
16	Resumen de características geológicas del acuífero Nasca -----	71
17	Resumen de características geológicas del acuífero Chili-----	75
18	Resumen de características geológicas del acuífero Moquegua llo-----	79
19	Resumen de características geológicas del acuífero Sama-----	83
20	Resumen de características geológicas del acuífero Caplina -----	88
21	Excedentes promedio mensuales (M3/s) del rio Chillón en la zona de la bocatoma (Por BIB.I) -----	99
22	Transmisividades del acuífero Chillón -----	102
23	Resumen de Resultados de las simulaciones de Recarga Artificial-----	112
24	Variaciones de niveles de agua y calidad en algunos pozos de Lanchas Octubre 2005 a Enero del 2007 -----	113
25	Costo estimado de Operación de Obras -----	116

## RELACION DE FIGURAS

N°	DESCRIPCION	Pág.
1.0	Clasificación de Recarga de acuíferos-----	4
2.0	Elementos que intervienen en la recarga de acuífero de un relleno sedimentario. -----	5
3.0	Representación diagramática distribución de la aportación pluviométrica en sus diferentes Componentes -----	5
4.0	Condiciones hidrogeológicas de Recarga (tomada de Custodio 1997a) -----	10
5.0	Pozo de recarga artificial -----	12
6.0	Fosa de recarga artificial -----	12
7.0	Elementos de un proyecto de recarga artificial -----	14
8.0	Tipos de recarga artificial-----	15
9.0	Diagrama de recarga en superficie -----	15
10	Modificaciones de los cauces de río - muros transversales -----	16
11	Modificaciones de cauce de río –margen -----	16
12	Método de zanjas de infiltración-----	16
13	Pozos de inyección directo y subsuperficie -----	17
14	Pozos (de inyección, ASR, secos), simas y dolinas, drenes y galerías -----	17

## RELACION DE LAMINAS

N°	DESCRIPCION	Pág.
1.0	Mapa de Ubicación del área de estudio -----	3
2.0	Mapa geológico del acuífero Zarumilla -----	23
3.0	Mapa geológico del acuífero Tumbes -----	27
4.0	Mapa geológico del acuífero Casitas -----	31
5.0	Mapa geológico del acuífero Motupe -----	34
6.0	Mapa geológico del acuífero Zarña -----	39
7.0	Mapa geológico del acuífero Chicama -----	43
8.0	Mapa geológico del acuífero Moche -----	47
9.0	Mapa geológico del acuífero Nepeña -----	50
10	Mapa geológico del acuífero Chancay Huaral -----	55
11	Mapa geológico del acuífero Cañete -----	59
12	Mapa geológico del acuífero Pisco -----	62
13	Mapa geológico del acuífero Ica -----	66
14	Mapa geológico del acuífero Nasca -----	70
15	Mapa geológico del acuífero Chili -----	74
16	Mapa geológico del acuífero Moquegua Ilo -----	78
17	Mapa geológico del acuífero Samao -----	82
18	Mapa geológico del acuífero Caplina -----	87
19	Mapa de ubicación Recarga acuífero Rimac -----	91
20	Mapa de ubicación Recarga acuífero Chillón -----	98
21	Mapa de ubicación Recarga acuífero Rio Seco -----	109
21	Mapa de ubicación de Pozos a perforar -----	111

**ANEXO**

**ANEXO I**  
**FOTOGRAFIAS**

**ANEXO II**

**FIGURAS**

## 1.0 INTRODUCCION

### 1.1 ANTECEDENTES

El cambio climático global afectará la renovación y la calidad del agua subterránea, siendo los acuíferos someros más vulnerables que los profundos, pues en la medida en que disminuya la disponibilidad de agua superficial aumentará la presión sobre la subterránea y, a su vez, todo impacto negativo sobre los acuíferos afectará a las fuentes superficiales y a los ecosistemas.

Después de los casquetes polares, el subsuelo contiene la mayor reserva de agua dulce del planeta, misma que en gran parte no es renovable y que reviste gran importancia para compensar las variaciones de la disponibilidad de agua superficial y para dar flexibilidad al manejo integrado de los recursos hídricos.

Ante la inminencia de los efectos del cambio climático que producirán un aumento de las temperatura, más eventos extremos (sequía, inundaciones), y aumentará el nivel del mar con lo que aumentarán también las posibilidades de salinización de aguas dulces. En el caso de las aguas subterráneas se *reducirán las zonas de recarga, reducción del recurso hídrico subterráneo, avance de la intrusión salina y salinización de acuíferos*; se hace necesario independientemente de los efectos del cambio climático se vea como un beneficio o como un problema la magnitud potencial de los cambios, tomar medidas pertinentes. Por eso es importante evaluar la *utilización de la gran capacidad de almacenamiento de los acuíferos* para aprovechar las aguas de las inundaciones y regular las actuaciones de la recarga artificial.

En los últimos años viene siendo empleada como una herramienta de gestión hídrica económica y de gran efectividad con respecto a las grandes obras hidráulicas, resultando una actividad de primer orden en varios países del mundo, como son Holanda, USA, Australia, España, México, etc. En cambio en el Perú está poco desarrollada la utilización de la capacidad de almacenamiento subterráneo y de las recargas en las masas de agua subterránea. Solo existen experiencias puntuales como es el caso de la Empresa de Agua Potable y Alcantarillado – SEDAPAL, desarrollado en los aluviales de los ríos Rimac y Chillón de en los años 1980 y 2000. El volumen anual máximo de recursos hídricos obtenerse resultantes de operaciones de RA asciende a 300-350 hm<sup>3</sup>/año (IGME, 2000).

En la nueva legislación en materia de aguas del Perú, Ley de Recursos Hídricos (Ley N° 29338) promulgada en el año 2008, ha sido considerado como un bien artificial (Título I Disposiciones Generales Art. 6). Por otro lado, en cumplimiento al Art. N° 15, ítem 3 y 8, que dice: “proponer normas legales en materia de su competencia, así como dictar normas y establecer procedimientos para asegurar la gestión integral y sostenible de los recursos hídricos” y “conducir, organizar y administrar el Sistema Nacional de Información de Recursos...”, respectivamente; de la Ley de Recursos Hídricos (Ley N° 29338), que son funciones de la Autoridad Nacional del Agua. Asimismo, a fin de cumplir con lo dispuesto en el Art. 75° “... velar por la protección del agua,... coordinar con las instituciones públicas competentes y los diferentes usuarios” y el Artículo 89°.- “Prevención ante efectos de cambio climático. La Autoridad Nacional., debe desarrollar estrategias y planes para la prevención y adaptación a los efectos del cambio climático y sus efectos...”; ha considerado en su Plan Operativo 2009, realizar un Diagnóstico Situacional de la Recarga de Acuíferos en el país a fin de regular su uso en nuestro país.

### 1.2 OBJETIVO

- Evaluar la capacidad de almacenamiento de los acuíferos estudiados por el INRENA, de acuerdo a sus características hidráulicas, y su clasificación para la aplicación de la recarga artificial (evaluación preliminar).
- Evaluar las metodologías empleadas en el país para la recarga artificial, y los resultados de su aplicación.
- Evaluar la normatividad sobre recarga artificial en el Perú y otras normas internacionales.

### 1.3 AMBITO

El estudio se ha realizado en forma puntual en los valles Rímac y Chillón, ámbito de la ALA Chillón-Rímac-Lurín, en el valle Villacurí y en el ámbito de la ALA Río Seco. Asimismo, se ha realizado la evaluación preliminar de las condiciones geológicas en 17 acuíferos costeros del país. Ver Mapa N° 01.

### 2.0 CONCEPTOS

#### 2.1 DEFINICIONES

##### **Acuífero (del latín fero, llevar)**

Formación geológica que contiene agua en cantidades apreciable y que permite que circule a través de ella con facilidad. Suministrando cantidades útiles de agua subterránea a manantiales naturales o pozos de agua. Ejemplos: Arenas, gravas. También granito u otra roca compacta con una fracturación importante.

##### **Acuicludo (del latín cludo, encerrar)**

Formación geológica que contiene agua en cantidad apreciable y que no permite que el agua circule a través de ella. Ejemplo: limos, arcillas. Un m<sup>3</sup> de arcillas contiene más agua que el mismo volumen de arenas, pero el agua está atrapada, no puede salir por gravedad, y por tanto no podrá circular en el subsuelo ni en condiciones naturales ni hacia un pozo que este bombeando.

##### **Acuitardo (del latín tardo, retardar, impedir)**

Formación geológica que contiene agua en cantidad apreciable pero que el agua circula a través de ella con dificultad. Evidentemente se trata de un concepto intermedio entre los dos anteriores. Ejemplos: Arenas arcillosas, areniscas, rocas compactas con alteración y/o fracturación moderadas.

##### **Acuifugo (del latín fugo, rechazar, ahuyentar)**

Formación geológica que no contiene agua porque no permite que circule a través de ella. Ejemplo: Granito o esquisto inalterado y no fracturados.

##### **Agua Subterránea**

Toda el agua que se encuentra en el suelo es agua subterránea. También aquella que está almacenada en las rocas fracturadas.

El agua subterránea (sinónimo: agua freática) es el agua que llena completamente los vacíos del suelo y de la roca y que muestra movimientos que dependen sólo o casi sólo de las fuerzas de gravitación y fricción. Los vacíos pueden ser poros, rupturas, grietas, fisuras o cuevas de distinto tamaño.

##### **Agua Vadosa**

El agua vadosa se entiende como el agua capilar y la humedad de suelo.

##### **Infiltración**

Se denomina al proceso y a la cuantificación de la penetración de agua desde la superficie hacia el interior del terreno. Cuando el nivel freático está a cierta profundidad, la parte de la infiltración que se convierte en recarga tarda un tiempo más o menos largo, a veces muy dilatado, en llegar al acuífero. El agua en tránsito descendente es recarga en tránsito o agua de percolación (no hay un término universalmente admitido).

##### **Zona no saturada (o zona vadosa)**

Zona donde los poros del suelo presentan tanto agua como aire.

##### **Zona saturada**

Zona donde los poros del suelo están totalmente ocupados por agua. El agua del subsuelo es toda el agua en forma líquida o gaseosa, es decir, el vapor de agua en el suelo, el agua capilar, la humedad del suelo, el agua adhesiva y el agua freática.

**Mapa N° 01**

### 3.0 RECARGA DE ACUIFEROS

#### 3.1 DEFINICION

En términos generales se denomina recarga al proceso por el cual se incorpora a un acuífero agua procedente del exterior del contorno que lo limita. Asimismo, al volumen de agua que se infiltra o al flujo descendente en un intervalo de tiempo que alcanza el nivel freático formando o aumentando las reservas de agua. Esta recarga puede clasificarse en:

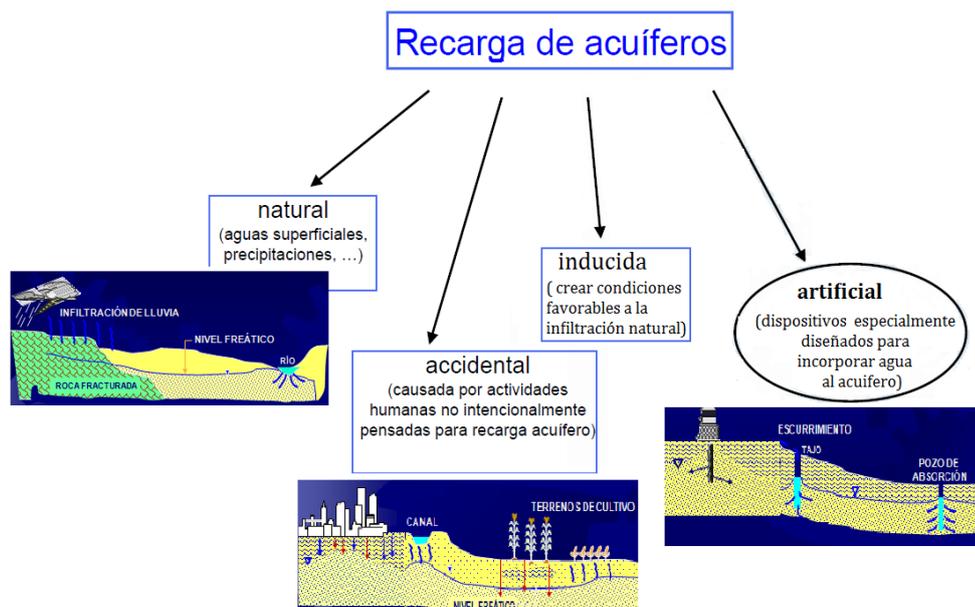


Figura N° 01 Clasificación de Recarga de acuíferos

#### 3.2 RECARGA NATURAL

Se llama recarga tanto al volumen de agua como al flujo unitario (tasa de recarga), en volumen por unidad de tiempo ( $L^3T^{-1}$ ), que penetra en un cierto intervalo de tiempo al medio saturado. La recarga también es frecuente darla como volumen por unidad de superficie y unidad de tiempo, o altura por unidad de tiempo ( $L \cdot T^{-1}$ ). Esta tasa de recarga puede ser tanto el valor en un momento determinado, como el valor medio correspondiente a un cierto periodo de tiempo, o bien el valor medio que corresponde un largo periodo de tiempo.

##### 3.2.1 Proceso de la recarga (infiltración)

En el caso de la recarga por la lluvia, situación más común y regionalmente más importante (aunque puede no serlo a nivel local), tras descontar de la precipitación la parte del agua que queda interceptada por la vegetación (que luego se evaporará) y la parte del agua detenida en superficie (que asimismo luego se evaporará), lo que queda (lluvia útil para muchos autores) se reparte entre escorrentía superficial directa (agua que escurre sobre el terreno) e infiltración. Parte de la escorrentía superficial directa puede infiltrarse aguas abajo en encharcamientos o allí donde las condiciones del terreno sean favorables al proceso. La tasa (intensidad o valor por unidad de tiempo) de estos componentes varía a lo largo del evento de precipitación.

Así la interceptación y detención son importantes al inicio de la lluvia, la infiltración decrece con el tiempo y la escorrentía superficial aumenta a lo largo de la lluvia.

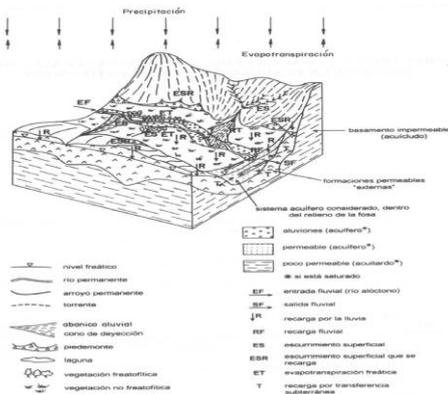


Figura N° 2.0 Elementos que intervienen en la recarga de acuífero de un relleno sedimentario.

Bloque-diagrama esquemático de una fosa tectónica entre bloques elevados (pilares, horsts) impermeables a efectos prácticos, y elementos que intervienen en la recarga del sistema acuífero del relleno sedimentario, el cual contiene formaciones permeables (acuíferos) y poco permeables (acuitardos) y que comprende una amplia franja no saturada cuyo espesor crece en el sentido de flujo del agua del río. El conjunto está encajado en formaciones también permeables que aquí se consideran exteriores al sistema acuífero del relleno sedimentario (por ejemplo se puede tratar de rocas carbonatadas o volcánicas, como basaltos o riolitas). Figura tomada de Custodio (1997a)

Una parte del agua infiltrada se puede desplazar más o menos rápidamente en sentido horizontal por la parte superior del suelo siguiendo macroporos, canalículos, grietas, etc. y luego reaparecer en superficie a menor elevación como escorrentía superficial diferida o flujo subsuperficial, uniéndose a la escorrentía superficial directa para formar la escorrentía superficial del evento de lluvia (Fig. 02).

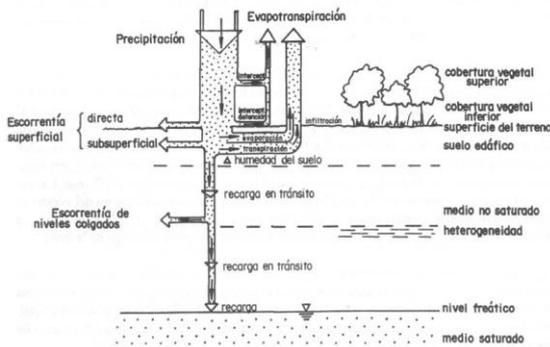


Figura N° 3.0 Representación diagramática distribución de la aportación pluviométrica en sus diferentes componentes.

La precipitación es la que cae sobre el dosel de la vegetación, que es aproximadamente igual a la que recoge un pluviómetro clásico en un claro del bosque y lejos de edificaciones. La escorrentía de niveles colgados puede sumarse a la recarga en tránsito en áreas vecinas o salir al exterior si estos niveles interceptan a la superficie del terreno en áreas con suficiente relieve. Figura tomada de Custodio (1997a)

La tasa de infiltración viene limitada por la permeabilidad intrínseca del suelo y su estado de humedad, cuyo límite superior es la porosidad y su límite inferior está condicionado por procesos capilares que disminuyen el potencial hidráulico permitiendo la succión de agua por el suelo. En caso de encharcamiento con el nivel freático profundo se produce infiltración. Se reduce a cero (rechazo) cuando hay encharcamiento (saturación) por ascenso del nivel freático hasta la superficie del terreno. El aire atrapado debajo de un frente de saturación extenso, si no tiene vía fácil de escape, limita la tasa de infiltración.

El agua infiltrada que no escurre sub superficialmente ocupa todos o parte de los poros del terreno y tiende a descender verticalmente de forma lenta si se supera la capacidad de campo del terreno. Esta parte del agua está disponible para ser transpirada por las plantas en la franja de penetración de las raíces (franja radicular) o para ser evaporada por la acción de la energía solar sobre la superficie del terreno. Este último efecto supone transporte capilar ascensional de agua hasta la superficie (cuando el terreno está muy seco se hace como difusión de vapor), con lo que el secado penetra lentamente en el terreno y la tasa de evaporación es rápidamente decreciente con el tiempo. La vegetación es efectiva extrayendo agua del suelo, al estar las raíces distribuidas hasta cierta profundidad.

Así, en el terreno hay una parte del agua infiltrada que desciende hacia el nivel freático y otra fracción que asciende para reponer las pérdidas a la atmósfera por evapotranspiración (como suma de la evaporación desde la superficie del suelo que produce la radiación solar y la extracción de agua que producen las raíces y que luego se evapora -transpira- en las hojas de la vegetación). El lugar geométrico donde la velocidad vertical es igual a cero es el llamado plano de flujo nulo, cuya posición varía a lo largo del tiempo entre la superficie del terreno (en el evento de recarga) y la profundidad radicular (después de un periodo seco prolongado). La percolación es recarga en tránsito bajo el plano de flujo nulo y formará más tarde la recarga al acuífero.

La existencia de grietas, conductos verticales y fisuras permite que el agua caída en superficie penetre por las mismas, en especial si sobre ellas se produce encharcamiento superficial. Esta forma de infiltración se puede llamar preferencial o indirecta, por contraposición a la antes descrita, que se puede llamar difusa o directa. La recarga concentrada es aquella que se produce bajo cauces de ríos, canales, encharcamientos, y otras formas de agua en superficie.

Las grietas de retracción por secado son poco a moderadamente profundas y el agua que penetra por ellas se suele acumular en la base de la zona afectada por la evapotranspiración, de modo que una parte importante puede volver a la atmósfera. La grieta tiende a cerrarse al irse humedeciendo el terreno que la limita, salvo que el efecto de la grieta persista si existe un relleno más permeable.

Otros tipos de grietas, fracturas y conductos son más permanentes y el agua caída o existente en superficie penetra por ellos hasta que es embebida; así la penetración del agua depende de la tasa de infiltración que recibe la grieta y de las características de la imbibición (el agua penetra horizontalmente en el terreno). El flujo por la grieta cesa pronto en profundidad si el terreno está muy seco (el agua infiltrada se acumula en el medio no saturado a profundidad variable si el terreno está muy seco), pero puede llegar a gran profundidad, incluso al nivel freático, si las paredes están próximas a la saturación, son de muy baja permeabilidad o la fisura recibe sostenidamente un gran caudal de agua (por ejemplo por encharcamiento en superficie o por descarga de un nivel colgado en la misma). Toda o buena parte de esta agua puede no estar afectada por evapotranspiración.

### 3.2.2 Tipos de recarga

La **recarga** puede definirse como las entradas de agua a un acuífero. Las formas de recarga natural a los acuíferos son por agua de lluvia, por aguas superficiales y por transferencias entre acuíferos. Se distinguen dos tipos de recarga natural: la directa (local o difusa) y la indirecta (localizada o preferencial):

- *Recarga directa* se define como el agua que se une a la reserva de agua subterránea por percolación vertical directa de la precipitación a través de la zona no saturada (zns) procedente de los excedentes de humedad en el suelo y de la evapotranspiración.
- *Recarga indirecta* es el resultado de la percolación hasta la superficie freática de la escorrentía superficial y de la localizada en depresiones topográficas como zonas estancadas, lagunas etc.

De Vries & Simmers (2002) emplean esta terminología para referirse a la: recarga directa (como percolación difusa con flujo tipo pistón), indirecta (como flujo por macroporos a través de canales de raíces, grietas de desecación y fisuras) y localizada (como flujo preferencial causado por frentes húmedos inestables y por características físicas diferenciadas en el mismo perfil de suelo).

Pero otros autores clasifican a la recarga en dos tipos:

- Recarga vertical, producto de la infiltración vertical de la lluvia y de la recarga artificial por retorno de riego agrícola.
- Recarga horizontal, debida a entradas subterráneas de otros acuíferos

La infiltración vertical se calcula a partir de un infiltrómetro o por determinación a partir de la *ecuación de balance de aguas superficiales*, donde la infiltración se considera como una pérdida para el sistema. En el caso de la recarga artificial por retorno de riego, se considera la lámina de riego como una precipitación. Cabe señalar que no necesariamente el agua que se infiltra llega hasta el acuífero. Para conocer la recarga horizontal se utilizan las redes de flujo.

### 3.2.2.1 Cálculo de la recarga vertical (infiltración) a partir de la ecuación de balance

El agua que precipita puede tomar tres caminos a seguir: infiltrarse, escurrirse o evaporarse, por lo tanto la ecuación de balance sería:

$$P = I + R + ET$$

Donde:

P = Precipitación  
I = Infiltración  
E = Escurrimiento  
ET = Evapotranspiración

El parámetro **precipitación** se mide mediante pluviómetros en estaciones meteorológicas, y se obtiene en unidades de longitud (usualmente mm). La **escorrentía superficial** se mide a partir de estaciones hidrométricas, donde se mide la velocidad del agua que multiplicada por la sección transversal de flujo, da un gasto, en unidades de volumen entre tiempo (usualmente m<sup>3</sup>/s). La **evapotranspiración** se calcula usualmente mediante métodos empíricos, como la Ecuación de Turc o Thornthwaite, y se expresa en unidades de longitud (mm).

Todos los parámetros de la ecuación de balance se pueden determinar de manera relativamente sencilla, el único parámetro difícil de evaluar es la **infiltración**, por lo que se despeja de la ecuación de balance, quedando:

$$I = P - R - ET$$

Existe un aparato utilizado para medir la infiltración, denominado **infiltrómetro**.

Al contrario de lo que sucede con la precipitación o la evapotranspiración, la infiltración puede variar considerablemente de un sitio a otro relativamente cercano, por lo que las mediciones hechas con infiltrómetros sólo pueden considerarse representativas de áreas muy pequeñas.

### 3.2.2.2 Cálculo de la entrada horizontal a partir de redes de flujo

Para construir una red de flujo es indispensable contar con las elevaciones de los niveles piezométricos del área de estudio. Con estos datos se determinan las *líneas equipotenciales*, es decir líneas de igual elevación de los niveles piezométricos. Se puede demostrar matemáticamente que el agua subterránea sigue trayectorias representadas gráficamente por líneas normales a las curvas de las líneas equipotenciales, a las cuales se les denomina *líneas de flujo*. A la malla formada por las líneas equipotenciales y las líneas de flujo, se le llama *red de flujo*.

En 1856, Darcy estableció las bases del estudio cuantitativo del agua subterránea al formular la ley que lleva su nombre: **"la velocidad de flujo a través de un medio poroso es directamente proporcional a la pérdida de carga e inversamente proporcional a la longitud de la trayectoria de flujo"**, o sea la velocidad de flujo a través del medio poroso es directamente proporcional al gradiente hidráulico". Esta ley se expresa matemáticamente:

$$V = K (h / l) = Ki$$

Donde:

V = Velocidad media del flujo  
h = es la pérdida de carga  
l = distancia  
i = gradiente hidráulico  
K = coeficiente de permeabilidad o conductividad hidráulica

Con base en el principio de conservación de masa y en la expresión anterior, puede cuantificarse el caudal de flujo que circula a través de una sección (canal de flujo) limitada por dos líneas de flujo y dos curvas equipotenciales, en la forma siguiente:

$$Q = Av = KA (h/l)$$

Donde:

A = Área de flujo

Utilizando el concepto de transmisividad (donde  $T = Kb$ ),  $b$  es el espesor del acuífero) la expresión anterior queda:

$$Q = TB (h/l)$$

Donde:

T = Transmisividad

L = Es la distancia entre las líneas Equipotenciales

B = Es el ancho medio del flujo de la celda.

Los valores son medidos directamente en la red de flujo, de acuerdo a la escala del flujo.

Es importante destacar que la Ley de Darcy se refiere a una velocidad media y área total de sección transversal que difieren de las reales. Estas dependen del acomodo de las partículas sólidas que constituyen el acuífero (Canales, 1989).

En general, la mayoría de las técnicas basadas en datos de la zona no saturada proporcionan estimaciones puntuales, no obstante, tales estimaciones pueden representar áreas mucho mayores por comparación de muchas estimaciones puntuales en diversas cuencas o relacionando los datos puntuales con factores geomorfológicos. (Scanlon et al. 2002).

Por otra parte varios autores apuntan que las técnicas basadas en los *métodos convencionales de balance de agua* utilizados en modelos numéricos conllevan probablemente gran cantidad de errores e incertidumbres. Esto se debe a que la mayoría de las aproximaciones confían en estimaciones de la evapotranspiración, cuyos errores normalmente exceden la magnitud del flujo de la recarga que se quiere estimar. Por ello y a partir de los años 80-90 la mayor parte de los estudios de estimación de la *recarga en climas semiáridos se han centrado en el uso de métodos con trazadores ambientales* (Walker et al. 1991).

### 3.2.3 Variables que intervienen en la recarga

La interacción del clima, geología, morfología, condiciones del suelo y vegetación determinan los procesos de recarga, siendo ésta en áreas semiáridas, mucho más susceptible a las condiciones próximas a la superficie que en las zonas húmedas.

Según Singh, 1988, defina que la recarga a los acuíferos depende fundamentalmente de las condiciones meteorológicas y de las características físicas del terreno, pero las variables que determinan la infiltración dependen de:

#### 3.2.3.1 Características de la precipitación.

La infiltración es función de la intensidad de la precipitación, la duración del evento y su distribución espacio-temporal. Esta última influye básicamente de dos formas:

- si la intensidad de la precipitación es mayor que la tasa de infiltración, se inicia la escorrentía superficial, y con ella disminuye la cantidad de agua que potencialmente puede infiltrarse
- si la intensidad de la precipitación es muy fuerte, dependiendo de la textura de los suelos, puede originarse una compactación que impide la infiltración

La influencia de estas características puede ser modificada por el tamaño de las gotas, el ángulo de incidencia y la forma de precipitación (agua, nieve, etc.).

### 3.2.3.2 Estado de humedad del suelo previo a la precipitación,

Condiciona las características hídricas del suelo. Por regla general, en suelos que están secos la tasa de infiltración será mayor que en suelos húmedos, ya que, además de la fuerza de la gravedad, van a actuar las fuerzas de succión aumentando la cantidad de agua en los poros. A medida que los poros se van llenando, la fuerza de succión disminuye y con ella la tasa de infiltración.

### 3.2.3.3 Características de la superficie, como condiciones de la cobertura vegetal, la topografía y la densidad de drenaje:

- Cobertura vegetal. Sus efectos principales sobre la infiltración serán:
  - a) Reducción del impacto de las gotas de lluvia, por lo que será más difícil que se genere una compactación de la superficie del terreno en forma de costra que dificulte la infiltración.
  - b) Aumento de la porosidad del suelo por apertura de macroporos con sus raíces.
  - c) Incremento de la materia orgánica en el suelo, lo que supone una mayor formación de agregados con las arcillas y una mejora de la estructura del suelo, lo que facilita la infiltración.
  - d) Aumento de la rugosidad de la superficie, lo que permite una mayor retención del agua y una mayor infiltración.
- Geomorfología. Sus efectos se relacionan con:
  - a) La pendiente: Cerdà (1995) establece que cuanto mayor es la pendiente, mayor es la velocidad de escorrentía y menor el tiempo en el que se produce infiltración. Para Poesen (1984), según sus resultados experimentales, la relación es inversa. No obstante, la mayoría de autores consideran que no se ha podido establecer una relación clara entre ambas por la interrelación de la pendiente con otros factores.
  - b) La forma de las vertientes: En relieves convexos los suelos son más delgados y la infiltración como paso previo a la recarga a los acuíferos se ve dificultada. En áreas cóncavas, con mayor acumulación de material, se posibilita la retención del agua más tiempo y la infiltración es mayor.
  - c) La orientación de la vertiente: De forma indirecta se relaciona con la infiltración al tener influencia sobre el nivel de materia orgánica, agregación, cubierta vegetal, régimen de humedad, etc. Cerdà (1995) constata que en términos generales las laderas norte (si la referencia es el hemisferio Norte) suelen presentar tasas de infiltración mayores al ser áreas donde la vegetación y los suelos se desarrollan mejor.
  - d) Densidad de drenaje: De forma general, las áreas de elevada densidad de drenaje con un mismo régimen climático tienen una escorrentía superficial elevada, por lo que se supone que la infiltración será menor que en aquellas áreas con poca densidad de drenaje.

### 3.2.3.4 Características del suelo.

Determinan la naturaleza y la magnitud de la porosidad del suelo, a partir de la textura, la estructura, el contenido de materia orgánica, la actividad biológica, la penetración de las raíces, la existencia de coloides expansivos (que permitirán una mayor retención del agua en sus poros), el número de horizontes del suelo (cuantos más horizontes mayor es la cantidad de agua retenida, ya que se dificulta su paso de un horizonte a otro), el uso del suelo (especialmente importante son las técnicas de manejo/gestión de la tierra), y la temperatura del suelo, (en suelos helados la infiltración es nula).

### 3.2.3.5 Características físicas y químicas del agua

Pueden afectar a su viscosidad, y por tanto a su movimiento a través del suelo. Destacan:

- La turbidez: Influye sobre la infiltración por el material en suspensión que llevan las aguas de escorrentía, que facilita el sellado de poros del suelo favoreciendo la escorrentía.
- El contenido de sales: Fundamentalmente el contenido en sodio intercambiable puede asociarse con los coloides del suelo y reducir la tasa de infiltración al disminuir el espacio libre. El calcio puede cementar parte del suelo, especialmente en climas áridos.
- La temperatura: Influye sobre la viscosidad del agua y por tanto sobre la tasa de infiltración.

### 3.2.3.6 Condicionantes hidrogeológicos

Además de los procesos exógenos que condicionan la generación de la recarga por la lluvia, existen otros procesos involucrados que no siempre son de descripción y cuantificación sencilla. De especial importancia son los cambios laterales en el suelo y en el medio no saturado a causa de la heterogeneidad del terreno por causas geológicas. Verticalmente se pueden formar niveles saturados (acuíferos colgados o suspendidos), temporales o permanentes, sobre horizontes continuos o discontinuos de pequeña permeabilidad. En general sólo suponen un retraso en la transformación de la percolación (recarga en tránsito) en recarga a los acuíferos, pero hay situaciones donde pueden suponer el encharcamiento temporal del terreno hasta la superficie, con rechazo de la infiltración, o bien la aparición de descargas laterales en el caso de que el relieve topográfico lo permita (Fig. 04).

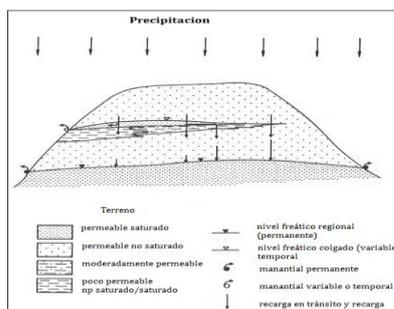


Figura N°04 Condiciones hidrogeológicas de Recarga ( Tomada de Custodio 1997a)

### 3.2.4 Métodos de determinación de recarga natural

La recarga a los acuíferos no es una media estacionaria ya que depende de la variabilidad climática, del tiempo de tránsito por el medio no saturado, etc. La incertidumbre en el cálculo de la recarga de agua subterránea ( $m^3/año$ ,  $mm/mes$ ,  $mm/día$ , etc.) Aumenta con la disminución de la precipitación, o sea, la incertidumbre es mayor en regiones áridas que en regiones húmedas. Las consecuencias de la incertidumbre en los cálculos de la recarga son más serias en regiones áridas. Medidas directas de la recarga en el lugar de origen

- Lisímetros
- Medidores químicos en zona no saturada
- Medidores químicos en zona saturada
- Cálculos de la Ley de Darcy (tanto en zona saturada como en zona no saturada)
- Calcular el balance hidrológico

#### 3.2.4.1 Lisímetros

- Monolitos grandes de suelo natural o preparado para medir el drenaje o el cambio de masa.
- La resolución de cambio de recarga y de almacenamiento es menos de  $1mm/día$ .
- Se aplican mejor a suelos creados por ingeniería, como para tapar entierros de residuos o para estudios de investigación.
- Caros, difíciles de mantener y sólo se aplican a sitios específicos.

#### 3.2.4.2 Medidores químicos en zona no saturada

- Medidores naturales o artificiales, colocados en la superficie del suelo se siguen a medida que avanzan a través de la zona no saturada.
- Los medidores más comunes son el cloruro del agua subterránea y los radioisótopos.
- Zonas no saturadas pueden servir como archivos del paleoclima y de la paleorecarga para determinar la última vez que ocurrió una recarga significativa (Edmunds y Tyler, 2002).

a) El Balance de la masa de cloruro

El medidor más común de agua subterránea.

Debido a la concentración evaporativa, la concentración de cloruro en el agua subterránea excede la concentración aportada por la precipitación.

b) Cloruro del Agua de Suelo

La concentración de cloruro aumenta apreciablemente debajo de la zona de evaporación y de absorción de agua de las raíces( Soil Water Chlori). Bajo condiciones homogéneas:

$$P \cdot C_{lluvia} = R \cdot C_{tierra}$$

Donde:

P = precipitación

R= Recargo

C = concentración de cloruro en la lluvia y en el suelo

3.2.4.3 Medidores de cloruro en zona saturada

La concentración de cloruro aumenta apreciablemente debajo de la zona de evaporación y de absorción de agua de las raíces.

Suponiendo que todo el cloruro que se encuentra en un acuífero se deriva de aportes de la precipitación, Dettinger (1989) mostró que se puede calcular el volumen/año (Rv) de la recarga usando la fórmula:

$$R_{vol} = P_v (C_{lluvia} / C_{\text{agua subterránea}})$$

3.2.4.4 Ley de Darcy y métodos para calcular el balance hidrológico

Los dos métodos sufren de inmensa incertidumbre con relación a los parámetros físicos (conductividad hidráulica no saturada) e infiltraciones (precipitación, transpiración, etc.) en regiones áridas.

Estos métodos sólo son apropiados para áreas pequeñas y tierras creadas por ingeniería (vertederos y cuencas de infiltración), no para escalas a nivel de región o de acuíferos.

**Entradas (E) = Salidas (S) +/- Variación de Almacenamiento (VA)**

**Resumen de los métodos de recarga**

- Todos sufren de gran incertidumbre en regiones áridas
- Todos se basan en buenos cálculos de la precipitación a escala de cuenca, datos escasos en muchas regiones áridas.
- Muchos presuponen condiciones de homogeneidad, lo que no es común en regiones áridas.
- Muchos son medidas puntuales y no se pueden integrar a escala de cuenca.
- Para los cálculos del agua subterránea en regiones áridas aún existe gran incertidumbre.
- En muchos casos es más fácil medir la descarga de agua subterránea que la recarga.
- Es posible medir los impactos del bombeo de agua subterránea, pero para evaluarlos se requiere buen monitoreo y cuantificación de la descarga de aguas subterráneas intactas.

### 3.3 RECARGA ARTIFICIAL

#### 3.3.1 Definición

A continuación se presenta algunas definiciones más comunes sobre recarga artificial:

**UNESCO:** “Aumento de la alimentación natural de agua subterránea a los acuíferos o embalses de agua subterránea suministrando agua a través de pozos, inundando o cambiando las condiciones naturales”.

**Custodio y Llamas, 1983:** “Se entiende por recarga artificial al “conjunto de técnicas cuyo objetivo principal es permitir una mejor explotación de los acuíferos por aumento de sus recursos y creación de reservas, mediante una intervención directa o indirecta en el ciclo natural del agua” (Freeze and Cherry, 1979). Esta técnica consiste en la introducción de agua en el acuífero de manera no natural, para, entre otras cosas, incrementar la disponibilidad y/o mejorar la calidad de las aguas subterráneas”.

**Bouwer (2002),** se refiere a esta técnica en los siguientes términos: “La recarga artificial de acuíferos consiste en disponer agua superficial en balsas, surcos, zanjias o cualquier otro tipo de dispositivo, desde donde se infiltra y alcanza el acuífero”.

En **foros internacionales la recarga artificial de acuíferos** suele denominarse con los acrónimos “AR” (Artificial Recharge) y “MAR” (Management of Aquifer Recharge). Este último término tiene su origen en el grupo de trabajo para estudio de operaciones de gestión de recarga artificial, fundado por la Asociación Internacional de Hidrogeólogos en 1988. Definiendo a la **recarga artificial de un acuífero**, también llamada gestión de la recarga de acuíferos o *Managed Aquifer Recharge* (abreviatura: **MAR o GRA**) como un método de gestión hídrica que permite introducir agua en los acuíferos subterráneos (en general, agua de buena calidad y pretratada, aunque ha habido varias experiencias de recarga con aguas residuales). Una vez almacenada en estos, puede ser extraída para distintos usos (abastecimiento, riego, etc.) frenar la intrusión marina, **contaminación** y otros usos.

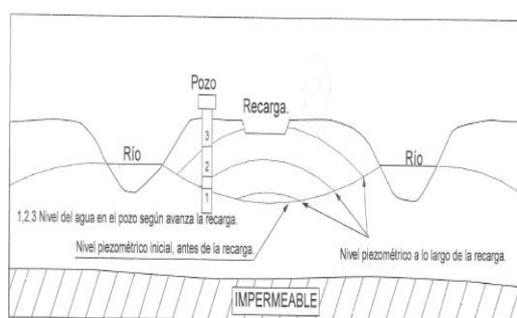


Fig. N° 05 Pozo de recarga artificial

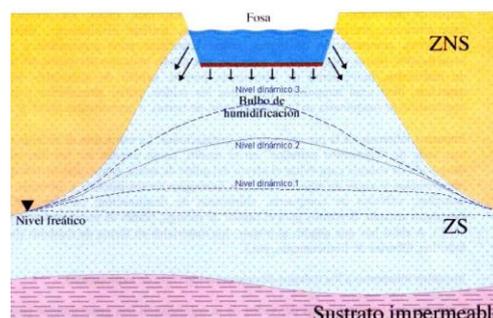


Fig. N° 06 Fosa de recarga artificial

También es considerada como una técnica, *Driving Force* o actividad capacitada para provocar un **impacto ambiental** (positivo o negativo) sobre la cantidad y la calidad de las masas de agua.

Finalmente podremos definir a la recarga artificial como conjunto de técnicas hidrogeológicas que permiten incrementar, por medios artificiales (no naturales sino forzadas) la cantidad de agua que entra a un almacenamiento subterráneo (la disponibilidad del agua subterránea), con la calidad apropiada para los usos a que se destine (mejorar la calidad del agua subterránea).

### 3.3.2 Objetivos

El Objetivo Principal de la “AR” es aumentar los recursos hídricos subterráneos y mejorar la calidad de las aguas (ITGE, 1991; Bouwer, 2002).

- Reducir el descenso piezométrico,
- Controlar la intrusión salina,
- Controlar problemas de hundimientos del terreno,
- Almacenar agua durante la época de lluvias para usarla durante la época de secas, e
- Infiltrar agua tratada para reúso.

### 3.3.3 Fuentes de agua para la recarga artificial

El agua puede proceder de ríos, depuradoras, escorrentía urbana, desaladoras o humedales entre otros orígenes, es introducida al acuífero mediante zanjas, balsas, pozos, sondeos de inyección, etc., generalmente en invierno. Esta agua es almacenada en el acuífero en cantidad superior a lo normal, y sigue su circuito natural subterráneo, depurándose durante un periodo de tiempo variable. Más tarde es extraída y empleada para diferentes usos como abastecimiento y regadío, generalmente con una calidad adecuada. Estas fuentes pueden ser:

- Fuentes convencionales: Procedentes de cursos fluviales permanentes, como excedentes de aguas superficiales y de aguas superficiales discontinuas cuyo origen pueden ser la escorrentía de tormentas. Así como también excedentes de aguas subterráneas procedente de otros acuíferos próximos, y aguas potables.
- Fuentes no convencionales: aguas residuales domésticas (normalmente con tratamiento de depuración secundario), agua de escorrentía de tormenta, retornos de riego, aguas salobres desalinizadas, etc.

Cuadro N° 01  
Fuentes de agua para la recarga artificial

FUENTE	TIPO DE AGUA	REGIMEN	MAGNITUD	CALIDAD
CONVENCIONAL	Agua meteorica	Transitorio	Variable	Buena
	Agua superficial regulada Cursos fluviales permanentes - Excedentes de aguas superficiales - Aguas superficiales discontinuas (escorrentia de tormentas) Excedentes de aguas subterráneas (procedente de otros acuíferos cercanos) Aguas Potables	Controlable	Controlable	Permanente y estable  Variable  Creciente
NO CONVENCIONAL	Escurrimientos extraordinarios Agua de escorrentía de tormenta Retornos de riego Agua salobres desalinizadas, etc.	Transitorio	Variable	Buena
	Agua residual doméstica (con tratamiento)	Permanente y estable	Creciente	Variable. Puede implicar riesgos para la salud y deterioro de la calidad en acuíferos

### 3.3.4 Métodos de Recarga Artificial

#### 3.3.4.1 Viabilidad y aspectos importantes a la hora de elegir sistema recarga

Parámetros característicos, niveles, tipo de acuíferos: geología a nivel local: calidad y cantidad agua de recarga; calidad aguas subterráneas “nativas; vulnerabilidad a contaminación; características suelo; disponibilidad espacio; consideraciones económicas; normativas vigente; impacto social; impacto ambiental en general.

Las formaciones geológicas más frecuentes donde se practica la recarga artificial son depósitos aluviales y areniscas como materiales no consolidados; calizas dolomías, calcarenitas y materiales volcánicos como consolidados.

Pueden establecerse dos grandes grupos:

Sistemas de recargas en superficie, se basan en extender el agua buscando una gran superficie de contacto agua-terreno. Se emplea en acuíferos libres que no presentan niveles de baja permeabilidad en las proximidades de la superficie, lo que permite la llegada del agua al acuífero.

Sistemas de recarga en profundidad, mediante la introducción o inyección de agua en el acuífero, normalmente a través de pozos y sondeos. Se emplea de forma generalizada en terrenos formados por alternancia de niveles permeables e impermeables.

#### 3.3.4.2 Tipo de acuíferos donde se puede hacer una recarga

En principio la recarga artificial se puede practicar en cualquier tipo de formación permeable que tenga condiciones para almacenar y transmitir agua.

Normalmente se realiza en acuíferos libres con el nivel freático a profundidad variable (desde muy próximo a la superficie hasta más de cien metros de profundidad).

#### 3.3.4.3 Elementos de un proyecto de Recarga Artificial



Fig. N° 07 Elementos de un proyecto de recarga artificial

3.3.4.4 Clases o tipos de recarga artificial

Existen dos grandes tipos de obras de recarga artificial, ellas son: **Recarga en superficie** y **Recarga a profundidad**, existiendo variaciones de estas dos, que son **Sistemas mixtos**.

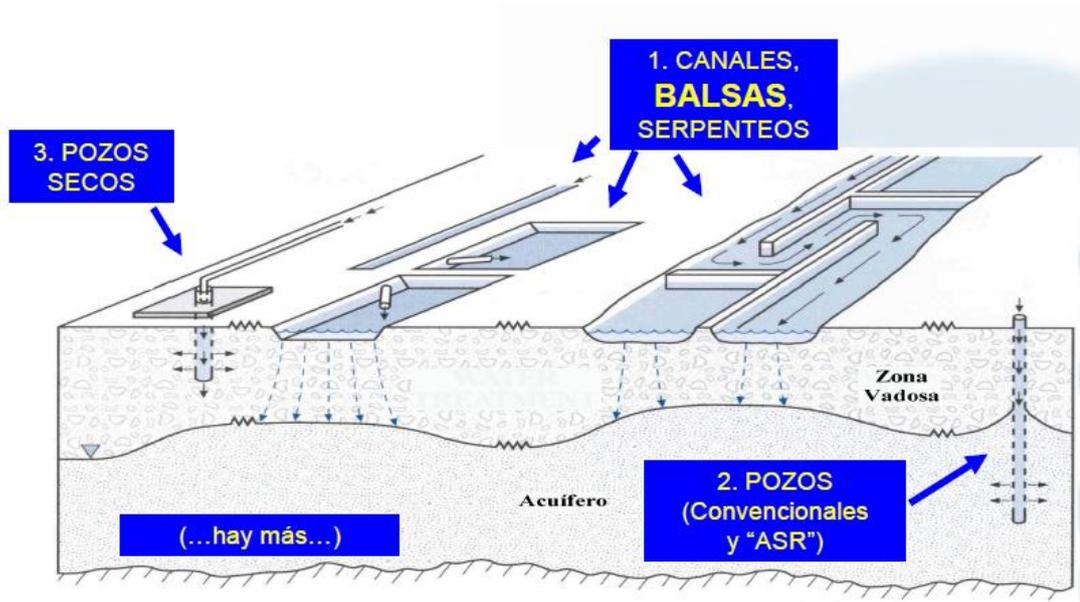


Fig. N° 08 Tipos de recarga artificial

a) **Recarga en superficie**

Los sistemas en superficie consisten en la infiltración de aguas por medio de obras que no están en contacto directo con la zona saturada del suelo, y que usan la zona no saturada como filtros; estas obras pueden ser: zanjas y surcos, balsas o cauces de ríos. Una de las desventajas de los sistemas en superficie, es que requieren grandes extensiones de terreno para la realización de estas obras.

- Lagunas de infiltración

Se aumenta el tiempo y el área de contacto entre el agua y el suelo para aprovechar la capacidad de infiltración del suelo. Demanda una gran superficie y se puede producir colmatación.

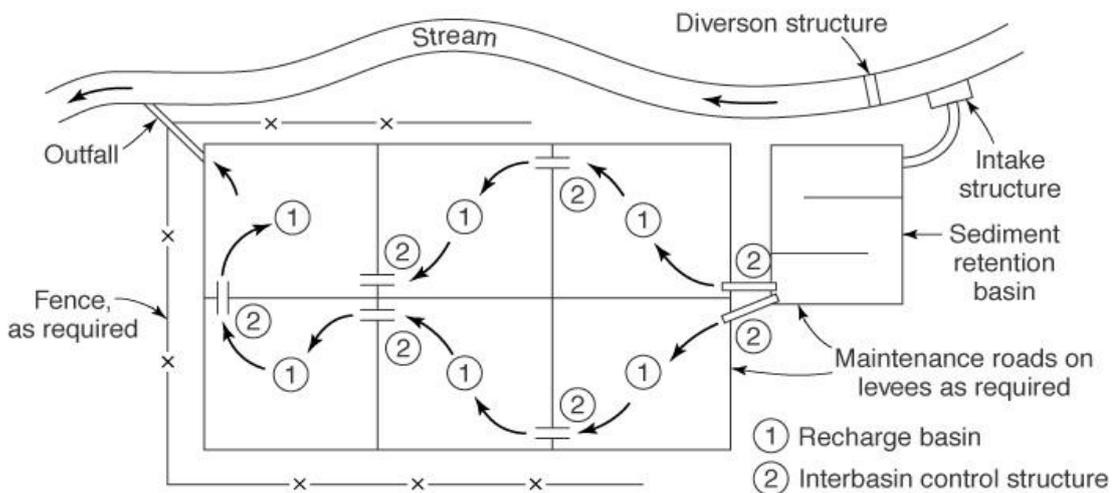


Fig. N° 09 Diagrama de recarga en superficie

- **Modificación de los cauces**

Se introducen modificaciones a los cauces para maximizar la infiltración  
Pueden ser destruidas por las crecidas

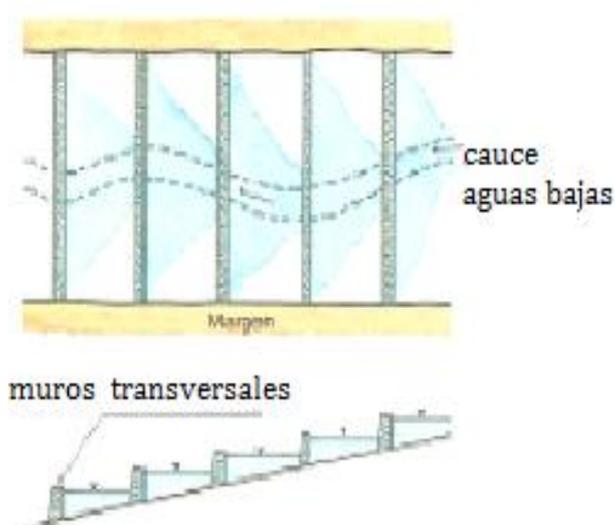


Fig. N°10 Modificaciones del cauces de río-muros transversales

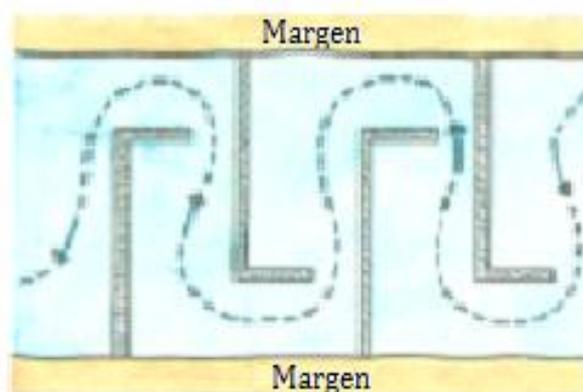


Fig. N° 11 Modificaciones de cauce de río -margen

- **Zanjas de infiltración**

Actualmente son muy utilizadas para la disposición de aguas lluvias y aguas servidas



**Zanjas, surcos o canales**

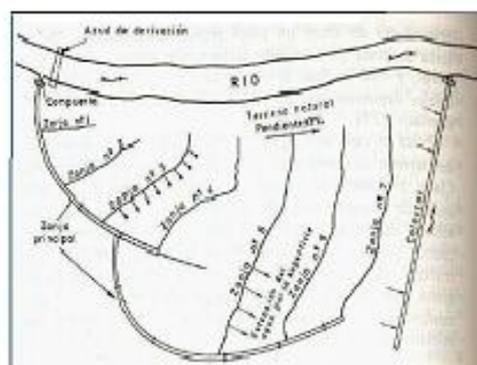


Fig. N° 12 Método de zanjas de infiltración

b) **Recarga a profundidad**

En los sistemas a profundidad, las aguas son inyectadas o infiltradas directamente al acuífero, mediante pozos verticales, drenes, galerías y pozos de adsorción (no llegan al área saturada). Las principales ventajas que presenta este método es que en áreas muy pequeñas se alcanzan grandes tasas de infiltración y en zonas en donde la superficie es impermeable y existe a profundidad alternancia de estratos permeables, se alcanza gran eficiencia. Las desventajas son: la calidad de las aguas a infiltrar debe ser de óptima, lo que lleva a tener que invertir en pre tratamientos del agua, un elevado costo de construcción y manutención, principalmente para evitar problemas de colmatación.

- Pozos de inyección

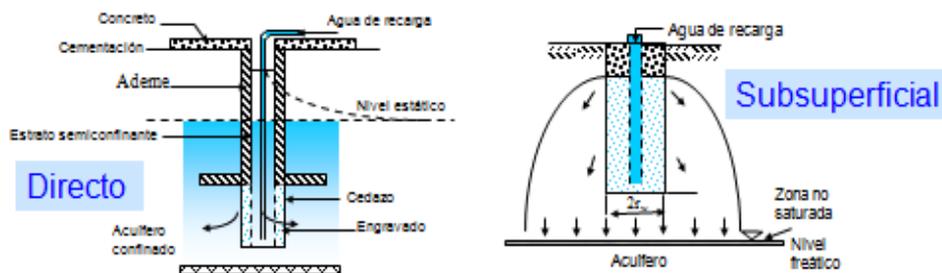


Fig. N°13 Pozos de inyección directo y subsuperficie

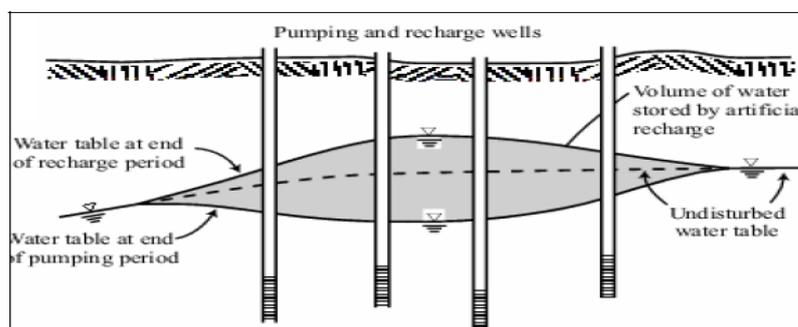


Fig. N° 14 Pozos (de inyección, ASR, secos), simas y dolinas, drenes y galerías

3.3.5 Ventajas de la técnica AR

Las principales ventajas son:

- Almacenar agua en los acuíferos, especialmente en zonas de escasa disponibilidad de terreno en superficie o sin posibilidad de otras formas de embalsamiento.
- Eliminación de patógenos, sustancias químicas, etc. del agua durante el proceso de infiltración a través del suelo y su posterior residencia en el acuífero, suavizando diferencias cualitativas y reduciendo riesgos medioambientales, incluidos aquellos relacionados con la salud.
- Utilización del acuífero como embalse regulador, almacén y red de distribución dentro de un sistema integrado, permitiendo suavizar fluctuaciones en la demanda y reducir el descenso del nivel del agua por sobre-bombeo.
- Reducir las pérdidas por evaporación respecto al agua embalsada y compensar la pérdida de recarga natural en un acuífero por actividades antrópicas.
- Introducir sistemas de gestión hídrica paliativa mediante la recarga artificial en cabeceras de cuenca y zonas forestales.
- Integración de actividades lesivas en el marco del desarrollo sostenible, tales como el tendido de barreras hidráulicas para la intrusión marina, la prevención de problemas geotécnicos, la reutilización de aguas residuales urbanas, la regeneración hídrica de humedales, etc.
- Mejora económica de zonas deprimidas.
- Intervención para aminorar la desertización, cambio climático, erosión de suelos, etc.
- Reducir o eliminar el descenso del nivel del agua producida por bombeos.
- La utilización del acuífero como embalse regulador o como depósito haciendo uso de su gran capacidad de almacenamiento.
- Aprovechamiento del acuífero como red de distribución.
- Compensar las pérdidas de la recarga natural que producen distintas actividades (entre otras: encauzamientos, desvíos de agua y obras civiles).
- Mejorar la situación en acuíferos costeros creando una barrera hidráulica contra la intrusión.
- Evitar que aguas contaminadas o de peor calidad que pueden existir en otras zonas del acuífero se desplacen hacia captaciones donde se bombean de buena calidad.

- Evacuación y tratamiento de aguas residuales utilizando la capacidad de depuración del terreno
- Incrementar recursos de los acuíferos
- Restaurar acuíferos sobreexplotados
- Reducir la intrusión marina o fenómenos de subsidencia del terreno
- Utilizar acuífero como embalse regulador y depósito, red de distribución
- Mejora de la calidad del agua de recarga
- (depuración natural debida a conjunto procesos en acuífero y/o en ZNS)
- Diluir o mejorar las aguas del acuífero.

### 3.3.6 Aplicaciones:

- Frenar la intrusión marina (Martín-Alonso, 2003).
- Evitar procesos de subsidencia en el terreno.
- Mejorar la calidad mediante técnicas de tratamiento de suelo y acuífero.
- Empleo de acuíferos como sistemas de conducción de agua.
- Proporcionar una fuente de abastecimiento subterráneo en aquellas zonas en las que, por tradición, se prefiere este recurso a las aguas superficiales. Otros usos de la recarga artificial en zonas volcánicas es la geotermia (Bouwer, 2002).
- Evitar o reducir el descenso del nivel del agua producido por sobrebombeo.
- Utilización del acuífero como embalse regulador, disminuyendo las pérdidas de agua por evaporación.
- Utilización del acuífero como red de distribución, lo que permite evitar la construcción o instalación de conducciones de agua innecesarias y costosas.
- Evitar que las aguas de inferior calidad existentes en el acuífero se desplacen hacia las captaciones de buena calidad.
- Evacuación y depuración de aguas residuales urbanas, que, tras un tratamiento anterior a su infiltración en el terreno, son tratadas por el terreno de acuerdo con su capacidad de autodepuración.
- Reducir el descenso del nivel por sobrebombeo
- Utilización del acuífero como embalse regulador, almacén y red de distribución
- Compensación de la pérdida de recarga natural en un acuífero por actividades humanas.
- Evitar que las aguas de inferior calidad del acuífero se desplacen hacia las captaciones de buena calidad.
- Evacuación y depuración de aguas residuales urbanas.

### 3.3.7 Problemas técnicos que afecta la recarga artificial

El principal problema es la colmatación, que es un proceso de acumulación de materiales en las proximidades de la superficie de entrada del agua. Su efecto es una reducción de la capacidad de infiltración. Puede ser debida a efectos mecánicos (materiales arrastrados), a efectos biológicos (desarrollo de algas, hongos y bacterias), y a procesos químicos (precipitaciones de sales).

Las acciones que pueden tomarse para prevenir esta problemática son:

- Decantación de la materia suspendida y el filtrado del agua de recarga en el caso de colmatación por efectos mecánicos.
- Empleo de alguicidas, aumento de la altura de la lámina de agua y la alimentación intermitente en la de origen biológico.
- Pretratamiento del agua de inyección o de infiltración cuando el problema sea de origen químico.

Uno de los retos más importantes con el que deberán enfrentarse en el futuro más inmediato los responsables de la planificación y gestión del agua es el de definir con precisión, a través de un programa adecuado de investigación, tanto, como los volúmenes de agua que se pueden almacenar.

En estos momentos no es posible cuantificar numéricamente la fracción de la aportación hídrica sin regular que podría destinarse a recarga artificial, ya que esta técnica exige condicionantes muy especificados, ligados a factores diversos, que pueden limitar notablemente su viabilidad en cada caso.

#### 4.0 RECARGA DE ACUIFEROS EN EL PAIS

A continuación se resume en el siguiente cuadro, los distintos métodos utilizados para determinar la recarga anual de los principales acuíferos en el país:

Cuadro N° 02  
Cálculo de Reservas de aguas subterráneas en los valles costeros del Perú

Nº ORDEN	VALLE	RESERVAS RACIONALMENTE EXPLOTABLES MMC/AÑO	VOLUMEN EXPLOTADO POR POZOS				RESERVAS POTENCIALMENTE EXPLOTABLES		MÉTODO CÁLCULO
			Nº POZOS UTILIZADOS	AÑO	MMC/AÑO	%	MMC/AÑO	%	
1	Zarumilla	32,00	68	2002	6,15	19%	25,85	81%	Balance
2	Tumbes	38,80	31	2006	1,83	5%	36,97	95%	Estimado
3	Qda. Casitas Bocapan	6,14	36	2006	4,53	74%	1,61	26%	Balance
4	Alto Piura	140,00	519	2002	35,70	26%	104,30	75%	Modelo (2006)
5	Medio y Bajo Piura (acuífero confinado)	140,00	104	2004	42,90	31%	97,10	69%	Estimado
6	Olmos Cascajal	39,69	452	2007	49,00	123%	0,00	0%	Modelo (2006)
7	Motupe	42,00	409	2008	45,51	108%	0,00	0%	Modelo (2006)
8	Leche	37,00	733	2008	44,12	119%	0,00	0%	Modelo (2006)
9	Chancay-Lambayeque	341,00	1132	2003	93,17	27%	247,83	73%	Estimado
10	Zaña	15,80	326	2004	3,03	19%	12,77	81%	Modelo (2006)
11	Jequetepeque	159,14	1381	2004	15,00	9%	144,14	91%	Modelo
12	Chicama	226,74	1691	2007	256,32	113%	0,00	0%	Modelo (2007)
13	Moche	76,00	712	2004	17,30	23%	58,70	77%	Balance
14	Víru	78,84	1139	1998	10,00	13%	68,84	87%	Modelo (2007)
15	Chao	31,54	318	1998	1,27	4%	30,27	96%	Modelo (2007)
16	Santa	77,00	171	2001	4,75	6%	72,25	94%	Balance
17	Lacramarca	93,00	131	2001	20,60	22%	72,40	78%	Balance
18	Nepeña	63,00	149	1999	3,10	5%	59,90	95%	Modelo (2007)
19	Casma	31,54	393	2005	22,00	70%	9,54	30%	Modelo (2006)
20	Culebras	6,21	60	2006	5,60	90%	0,61	10%	Modelo (2006)
21	Huarmey	7,72	310	2002	5,37	70%	2,35	30%	Modelo (2006)
22	Fortaleza	15,77	66	2005	12,80	81%	2,97	19%	Balance
23	Pativilca	31,54	125	2005	1,81	6%	29,73	94%	Balance
24	Chancay-Huaral	101,80	3209	2001	15,05	15%	86,75	85%	Balance
25	Chillón	63,07	373	2008	55,03	87%	8,04	13%	Balance
26	Rímac	126,14	1341	2008	153,64	122%	0,00	0%	Balance
27	Lurin	21,44	939	2007	15,44	72%	6,00	28%	Modelo
28	Asia-Omas	4,00	98	2002	4,42	111%	0,00	0%	Balance (2008)
29	Mala	59,91	269	2002	8,69	15%	51,22	85%	Balance
30	Chincha	130,00	489	2000	38,68	30%	91,32	70%	Balance
31	Cañete	102,00	468	2001	4,52	4%	97,48	96%	Balance
32	Pisco	42,00	288	2003	24,62	59%	17,38	41%	Balance
33	Ica	252,29	1154	2007	543,15	215%	0,00	0%	Modelo(2005)
34	Palpa	17,30	194	2000	14,60	84%	2,70	16%	Modelo (2007)
35	Nasca	63,00	681	2004	60,37	96%	2,63	4%	Modelo (2008)
36	Acarí	6,30	102	1998	4,74	75%	1,56	25%	Modelo(2006)
37	Chili	78,84	378	2002	3,31	4%	75,53	96%	Modelo(2008)
38	Moquegua	4,64	32	2003	0,59	13%	4,05	87%	Estimado
39	Caplina	46,00	127	2002	62,78	136%	0,00	0%	Modelo(2005)
	<b>TOTAL</b>	<b>2 849,19</b>	<b>20,598</b>		<b>1 711,49</b>		<b>1 522,78</b>		

Nota: Reserva Potencialmente Explotable: Volumen aún no explotado que puede ser aprovechado en el futuro.

Reserva Racionalmente Explotable: Volumen de explotación sostenible, con tendencia al equilibrio del sistema acuífero, aproximadamente igual a la recarga anual

#### 4.1 EVALUACION PRELIMINAR DE LAS CONDICIONES HIDROGEOLOGICAS PARA RECARGA ARTIFICIAL DE 17 ACUIFEROS

La estrecha franja costera es cortada por ríos con diversas condiciones hidrogeológicas, controladas por la litología circundante, de norte a sur tenemos diferenciadas las siguientes condiciones de acuíferos.

En el norte los acuíferos de Zarumilla, Tumbes y Casitas se caracterizan por estar ubicados en materiales sedimentarios del terciario, los cuales son de naturaleza mayormente finos, lo cual da lugar a condiciones de acuífero de baja permeabilidad y/o son acuíferos confinados que están en contacto con intrusivos, es sobre estas formaciones que se encuentran los cursos de los ríos Zarumilla y Tumbes los cuales desde el cuaternario antiguo han tenido etapas de deposición de materiales aluvionales, fluviales etc. que contienen los acuíferos actualmente aprovechados y en forma secundaria se aprovechan acuíferos en formaciones terciarias.

Los acuíferos Motupe, Zaña, Chicama, Moche, Cuenca Nepeña, Chancay Huaral, Cañete Pisco e Ica revisten singular importancia por la demanda de agua para riego y consumo humano, generalmente estos acuíferos están emplazados en valles aluvio fluviales de buena permeabilidad algunos tienen aporte hídrico importante y otros requieren transvases para ser aprovechados.

Generalmente son acuíferos libres, excepto el de Pisco – Villacurí en donde hay la presencia de acuíferos terciarios compuestos de materiales finos y hay la posibilidad de tener acuíferos semi o confinados.

El acuífero Nasca es de naturaleza libre y tiene poco aporte hídrico.

El acuífero Chili es especial pues tiene componentes litológicos almacén de diferente naturaleza, tales como volcánicos, depósitos morrénicos, depósitos aluviales y/o aluvionales y algunos están en planos inclinados, como es el caso de los volcánicos.

Los acuíferos de Moquegua y Sama son acuíferos libres de poco espesor y no son muy importantes como acuíferos.

El acuífero Caplina está sobreexplotado y requiere ser recargado por la gran demanda de agua para riego, por lo cual debe de estudiarse alternativas de derivación de aguas de cuencas vecinas.

Las vertientes occidentales del Pacífico tienen fuerte pendiente, razón por la cual en las épocas de crecidas las aguas discurren rápidamente hacia el Océano Pacífico y no percolan hacia los horizontes almacén (acuíferos).

Estas características hacen que se piense en crear condiciones apropiadas para recargar los acuíferos que tienen suficiente capacidad de almacenamiento y de esta forma conjuntamente con obras de embalse satisfacer las demandas hídricas de los valles.

Cuadro N° 03

#### 4.1.1 CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA E HIDROGEOLÓGICA ACUÍFERO ZARUMILLA

##### a) Geología

Comprende desde (curso bajo del río Zarumilla) Matapalo hasta su desembocadura en el Océano Pacífico. Gran parte del mencionado río es el límite fronterizo con la república del Ecuador . Las formaciones geológicas, son las siguientes:

##### Formación Zorritos (Tm - z)

Formación del Mioceno inferior, aflora en forma de faja transversal al valle Lechugal. es una secuencia alternada de lutitas verdosas y areniscas finas cuarzosas y en la base por areniscas de color gris claro de grano medio a grueso, localmente es micro conglomerádica. No se han identificado estructuras geológicas importantes.

##### Formación Cardalitos (Tm - c)

Es formación del Mioceno medio, está constituida por lutitas marrón grisáceo intercaladas con lutitas marrón azufrosas, engloban concreciones calcáreas y abundante yeso. Es de muy baja permeabilidad

##### Formación Tumbes (Tm - t)

Esta unidad estratigráfica del Mioceno está conformada por una secuencia de conglomerados bastante compactos, areniscas de grano grueso e intercalaciones de lutitas.

##### Terrazas Marinas (Q – Tm)

Comunmente conocido como “Tablazos” son depósitos de edad plioleocénicos, formados por sedimentos arcillo-arenosos gris verdosos, bandeados, calcáneos y en muchos casos guijarrosos, incluyendo en algunos casos areniscas finas que suprayacen a las formaciones terciarias.

Forman planicies topográficas disectadas. Se les encuentra dominando el resto del valle con alturas que varían entre 10 y 20m sobre la superficie del terreno. Estos depósitos ofrecen muy pocas perspectivas como reservorio acuífero.

##### Depósitos Aluviales (Q-al)

Depósitos ubicados a lo largo del lecho del cauce del río Zarumilla, en estos depósitos de cobertura se diferencian dos terrazas (**Q-t<sub>1</sub>** y **Q-t<sub>2</sub>**). Constituye un acuífero superficial libre. Ver Mapa N° 02.

De acuerdo al perfil de un pozo utilizado con fines poblacionales, las características litológicas de estos depósitos de arriba hacia abajo es de:

0,00 a 1,50 m	:	Arcilla arenosa de grano medio.
1,50 - 4,30 m	:	Arcilla color negruzco intercalado con capas de arena arcósica Gruesa (0.30m de espesor).
4,30 – 10,00m	:	Arena arcósica muy gruesa (presentan buenas características hidrogeológicas de almacenamiento).

##### Depósitos Aluvio-colviales (Q-al/col)

Depósitos que se ubican en el fondo de numerosas quebradas del área de estudio. La composición granulométrica es diversificada en mineralogía, tamaño y redondez, no son importantes como acuíferos aprovechables.

Mapa n° 02

### Depósitos Marinos Recientes (Q- mr)

Forman una angosta franja a lo largo de la línea costera, conforman depósitos recientes de arena y limos; son inundables en épocas de lluvias y como consecuencia de mareas altas. Se conoce a estos depósitos como “manglares”.

### INTRUSIVOS

#### Granitos (Pk - gr)

Afloran aguas arriba de Matapalo en forma alargada; el contacto está delimitado por la “Falla Falcones” y están compuestas por granitos de color gris claro, textura equigranular, fenos de plagioclasa, granos grandes de cuarzo y máficos en menor proporción.

Son bastante macizas y no obstante presentan algunos fallamientos y superficialmente ligeramente fracturadas e impermeables.

Cuadro N° 04  
Resumen de características geológicas del acuífero Zarumilla

TIEMPO - ESTRATIGRAFÍA				TIPO DE ACUÍFERO	CARÁCTER HIDROGEOLÓGICO	COMPOSICIÓN LITOLÓGICA
ERATEMA	SISTEMA	SERIE	FORMACIÓN			
Cenozoico	Terciario	Medio	Zorritos		Basamento Impermeable	Lutitas y areniscas finas
Cenozoico	Terciario	Medio	Cardalitos		Basamento Impermeable	Lutitas englobando a concreciones calcáreas - abundante yeso
Cenozoico	Terciario	Medio	Tumbes	Profundo	Acuífero pobre	Conglomerados, lutitas y areniscas compactos
Cenozoico	Terciario	Medio	Terrazas Marinas	Semi confinado	Acuífero pobre	Sedimentos Arcillo Arenosos, guijarros, areniscas finas
Cenozoico	Cuaternario	Reciente	Dep. Aluviales	Libre superficial	Acuífero aprovechable	Arcillas, arena gruesa permeables
Cenozoico	Cuaternario	Reciente	Dep. Aluvio Coluviales		Acuífero No aprovechable	Arcillas arenosas, guijarros, areniscas finas
Cenozoico	Cuaternario	Reciente	Dep. Marinos Recientes		Acuífero No aprovechable	Arenas
Paleozoico	Cretáceo		Granitos			Granitos masivos

### b) Hidrogeología

El acuífero del valle Zarumilla está constituido por dos tipos de materiales, siendo los más notorios los depósitos terciarios de Tumbes (mayor área) y los depósitos aluviales del cuaternario reciente.

Litológicamente está conformado por capas de arcilla, grava, arena fina y media, las cuales se presentan en forma alternada en sentido vertical.

Los depósitos aluviales ubicados a lo largo del lecho del cauce del río Zarumilla, en donde se diferencian dos terrazas Q-t1 y Q-t2, constituyen el acuífero superficial libre

La napa en el área investigada es libre y superficial y parte es explotada (depósitos cuaternarios), existiendo además pero a mayor profundidad una napa entrampada entre bloques, producto del sistema de fallas (horts y grabens) que existe en la fase sedimentaria de edad terciaria.

En el valle Zarumilla, el flujo subterráneo presenta tres (03) orientaciones principales, la primera de suroeste–noreste la segunda sureste-noroeste y la tercera de noreste–suroeste.

La profundidad del nivel estático en el área de estudio mayormente fluctúa entre 0,30 m y 21,32, llegando incluso a 44,96 m. en el sector Papayal.

Este valle cuenta con redes de control del acuífero, tanto piezométrica (94 pozos) como hidrogeoquímica (90 pozos) lo que permitirá realizar el seguimiento cualitativo y cuantitativo de la napa freática.

Este acuífero presenta regulares condiciones hidráulicas, mayormente no existen problemas de interferencia de pozos, variando los radios de influencia entre 86,00 m y 518,00 m para bombeos hasta de 24 horas/día.

#### 4.1.2 CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA E HIDROGEOLÓGICA DEL ACUÍFERO TUMBES

##### a) Geología

Las formaciones geológicas que comprende el área de estudio son las siguientes:

##### **ROCAS INDIVISAS**

###### **Formaciones Indivisas (Pi)**

Son formaciones no diferenciadas a las cuales se les ubica en el extremo sur del mapa, conforman la zona montañosa del área, no se ha diferenciado su composición, constituyen unidades de naturaleza impermeable. Estas no han sido estudiadas en detalle.

##### **ROCAS SEDIMENTARIAS**

###### **Formación Salinas (Tp-s)**

Se ha mapeado en la parte sur del área, está compuesto por horizontes de lutitas con intercalaciones de areniscas y de conglomerados con areniscas. Son horizontes poco representativos en el área.

###### **Formación Máncora (To-m)**

Aflora en sectores de la parte inferior, cerca de la localidad de Rica Playa, está conformada por estratos de areniscas de grano fino a grueso intemperizado, aunque se observa también niveles lenticulares de conglomerados con matriz arcillosa, éstas pueden tener de 1 a 2 m. de espesor, y llegar inclusive a 700 m.

###### **Formación Heath**

Aflora en la Qda. Angostura. Es una secuencia conformada por tres miembros, dos lutáceas y uno de areniscas. La base está constituida por lutitas gris verdosas, siguen areniscas cuarzosas de grano grueso con intercalaciones de lutitas. En la parte superior se observan lutitas de color marrón oscuro, presentan estratificación delgada.

###### **Formación Zorritos (Tm - z)**

Esta formación del Mioceno inferior, está constituida en tres fajas transversales al valle, una a la altura de las localidades de San Juan de la Virgen, las otras en las pampas de Hospital e Higuierón.

Es una secuencia alternada de lutitas verdosas con areniscas finas cuarzosas; observándose en la base areniscas gris claras, de grano medio a grueso y localmente son microconglomeráticas.

Esta formación presenta areniscas y horizontes de conglomerados; cuya base tiene buenas características físicas para el flujo de aguas subterráneas, sin embargo, es probable que el intenso fallamiento de la zona haya influido de una manera negativa, al poner en contacto estas últimas rocas con otras de baja permeabilidad.

#### **Formación Cardalitos (Tm - c).**

Esta formación del Mioceno medio, está conformada mayormente por lutitas de color pardo grisáceo, intercaladas con lutitas y limolitas de color gris verdoso, azufroso conteniendo concreciones calcáreas y abundante yeso en forma de anhidrita. En el caserío Vaquería, la secuencia litológica está conformada por areniscas tobáceas intercaladas con areniscas de grano medio color ocre.

#### **Formación Tumbes (Tm - t).**

Esta unidad estratigráfica del Mioceno superior, litológicamente está constituida por una secuencia de conglomerados de compactación variable, areniscas e intercalaciones de lutitas, los conglomerados y areniscas de grano grueso y poco compactadas, son las que ofrecen mejores posibilidades de constituir acuífero aprovechable.

#### **Depósitos Coluviales (Q - col)**

Se componen de clastos subángulosos a subredondeados cuyo tamaño varía entre gravilla y tamaños de 20cm, predomina el tamaño de partículas entre gravilla y 8cm, envueltos en una matriz de arena gruesa arcósica (40%), de muy poca compactación y de buena permeabilidad.

#### **Depósitos aluviales (Q - Al).**

Han existido dos etapas de sedimentación con posterior erosión, estos dos ciclos han dado lugar al modelamiento del valle, en tres unidades morfológicas:

- Cauce mayor o lecho actual del río (Q - t0)
- Primera terraza aluvial (Q - t1)
- Segunda terraza aluvial (Q - t2)

Los materiales en el cauce son arenas, limos y arcillas en proporciones muy diversas y varían notablemente de un lado a otro; los cantos rodados son sumamente escasos. Su ancho varía por lo general entre 40.00 y 150.00 m., encontrándose tramos ramificados con más de 300.00 m. y en las terrazas son arcillas, limos y arenas muy finas o mezcla de ellos. Ver Mapa N° 03

#### **Depósitos marinos (Q – m)**

Se encuentran formando una angosta franja que se observa a lo largo de la línea costera, compuestos de arenas y limos, inundables en épocas lluviosas, por mareas altas, conociéndose a éstos, como “Manglares”.

### **INTRUSIVOS**

#### **Rocas Ígneas Intrusivas (Pi - gr)**

Aflora al sur de la localidad de Higuierón y está delimitada en el flanco derecho del valle por la falla Falcones. Está constituida por granitos de color gris claro y textura equigranular son masivas, constituyen el basamento rocoso impermeable de las unidades permeables.

**Mapa N| 03**

Cuadro N° 05  
Resumen de características geológicas del acuífero Tumbes

TIEMPO - ESTRATIGRAFÍA				TIPO DE ACUÍFERO	CARÁCTER HIDROGEOLÓGICO	COMPOSICIÓN LITOLÓGICA
ERATEMA	SISTEMA	SERIE	FORMACIÓN			
Paleozoico		Inferior	Fm. Indivisa		Basamento Impermeable	Rocas Metamorfisadas
Cenozoico	Terciario	Pleistoceno	Salinas		Basamento Impermeable	Lutitas, conglomerados
Cenozoico	Terciario	Holoceno	Máncora		Basamento Impermeable	Areniscas, conglomerados con arcillas
Cenozoico	Terciario	Pleistoceno	Heath		Basamento Impermeable	Lutitas, areniscas cuarzosas
Cenozoico	Terciario	Medio	Zorritos		Basamento Impermeable	Lutitas y areniscas, conglomerados, microconglomerados
Cenozoico	Terciario	Medio	Cardalitos		Basamento Impermeable	Lutitas con limolitas, concreciones calcáreas, abundante yeso
Cenozoico	Terciario	Medio	Tumbes		Basamento Impermeable	Conglomerados, Areniscas, Limolitas
Cenozoico	Cuaternario	Reciente	Depósitos Coluviales		Acuífero No aprovechable	Arena, gravilla
Cenozoico	Cuaternario	Reciente	Aluviales	Libre	Acuífero aprovechable	Arenas, gravas, Limos, Arcillas
Cenozoico	Cuaternario	Reciente	Depósitos Marinos		Acuífero No aprovechable	Arenas y limos
Paleozoico		Inferior	Ígneas Intrusivas		Basamento Impermeable	Granitos

## b) Hidrogeología

El acuífero del valle Tumbes está conformado por depósitos sueltos cuaternarios y por horizontes sedimentarios terciarios. En relación a los depósitos aluviales, para su descripción fue dividido en dos partes: La primera que es la parte superior, tiene forma alargada (angosta) y abarca los sectores Rica Playa, La Capitana e Higuérón y se va ensanchando aguas abajo en ambas márgenes del río Tumbes, terminando entre las quebradas Chacritas y Ceibal, hasta el sector de San Juan de la Virgen. La segunda que es la parte inferior, tiene forma cónica, y comprende desde el sector San Jacinto ensanchándose progresivamente aguas abajo en ambas márgenes del río Tumbes, abriéndose bruscamente entre los sectores San Pedro de los Incas y Puyango.

El acuífero superficial conformado por depósitos aluviales está delimitado por el norte, con extensas áreas verdes cultivadas (arroz), aguas arriba, por el este, con la presencia de numerosas quebradas como Cabuyal, Vaquería, Corrales y San Juan, por el sur, con áreas de cultivo de arroz y por el oeste con zonas donde se siembra especies marinas, conocidas como manglares.

Con respecto al acuífero conformado por sedimentos terciarios, éstos se ubican en ambas márgenes del río y ocupa casi totalmente el área de estudio, superficialmente es poco accidentado presentando colinas (cerros) y quebradas de cierta profundidad; además superficies llanas como se observa hacia Zarumilla en el sector Andrés Araujo o Puyango. En la parte superior tiene una dimensión de 1,2 Km estrechándose entre las quebradas Cabuyal y Vaquería en aproximadamente 400 m; al pasar por los sectores el San Jacinto, Cristales y Malval se ensancha progresivamente alcanzando dimensiones entre 3 y 5 Km, aumentando al pasar por los sectores Puyango y Aeropuerto.

Litológicamente los aluviales de edad cuaternaria están constituidos por conglomerados, gravas, arenas y limos acarreados por aguas que drenan desde las cumbres. Los sedimentos terciarios están conformados por una secuencia de horizontes de areniscas, con grava gruesa y horizontes de conglomerados con intercalaciones de lutitas. Ver cuadro N° 05.

La napa freática en los depósitos aluviales es predominantemente libre y superficial; mientras que en los horizontes terciarios la napa se ubica a gran profundidad entrampándose el agua entre los bloques (producto del intenso fallamiento se forman los horts y grabens en rocas sedimentarias) formando un acuífero semiconfinado. El análisis de la morfología de la napa en el área de estudio concluye que en las zonas II y III el sentido del flujo subterráneo mayormente se orienta de noreste a suroeste, con una gradiente hidráulica que varía de 0,20 % a 3,42 % y con cotas del nivel de agua que fluctúan entre 39,00 – 70,00 m.s.n.m y 10,00 - 20,00 m.s.n.m; mientras que en la zona I, el flujo se orienta de noreste a suroeste, con una gradiente hidráulica de 1,53 % y con cotas del nivel de agua que varían de - 20,00 a 5,00 m.s.n.m. La profundidad de la napa freática en el área investigada fluctúa entre 0,40 m (IRHS N° 24/1/05 – 84, sector de Cabuyal) y 38,18 m de profundidad (IRHS N° 24/01/01 – 02, sector de Puyango).

De los resultados de las pruebas de bombeo (05) se ha determinado que los radios de influencia para bombeos de 6 a 24 horas, fluctúan entre 223,00 m y 290,00 m deduciéndose que en esta zona no existen problemas de interferencia de pozos.

#### 4.1.3 CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA E HIDROGEOLÓGICA DEL ACUÍFERO CASITAS

##### a) Geología

Las formaciones geológicas que comprende el área de estudio son las siguientes:

##### ROCAS SEDIMENTARIAS

###### Formación Salinas (Tp - s).

Esta unidad del Terciario–Cenozoico, subyace a la formación Mancora. Aflora por el sector Averías y se le ubica desde la localidad El Ciénago hasta el caserío Uaquillas, tal como se observa en los sectores Casitas, Cañaverál, Tacna Libre, Cherrelique, Rompal y El Palmo.

Está constituida por lutitas intercaladas con estratos de areniscas blanco verdosas de grano fino y resistente, en algunos sectores son intercalaciones de conglomerados en una matriz arenosa bien cementada y dura. En el sector Cañaverál se observa en un corte vertical una secuencia de arriba hacia abajo de conglomerados y areniscas y en su base de areniscas interestraficadas con lentes de conglomerados. Por otro lado, en los sectores el Palmo y Huaquillas se observan estratos de areniscas de 20 a 50cm de espesor, con rumbo N30°–50°E y buzamiento 20° NO respectivamente. En el área de estudio es el basamento impermeable.

###### Formación Máncora (To-m)

Está constituida por areniscas conglomerádicas de buena compacidad se le ubica a lo largo de ambos flancos de la quebrada en el sector Pan Viejo en una longitud de 4 km.

###### Grupo Talara (Te - t).

Conformada por alternancia de conglomerados, areniscas y presencia de lutitas, están ampliamente expuestas tal como se aprecia en la carta correspondiente.

###### Formación Chira Verdum (Te - chv)

Es un afloramiento aislado en la zona suroeste del área, esta formación se caracteriza por estar compuesta principalmente de lutitas y areniscas de baja permeabilidad.

###### Formación Heath(Tc - h)

Son horizontes sedimentarios de finos tales como lutitas y areniscas que afloran entre Buena Vista y el litoral costero.

###### Depósitos Aluviales (Q-al)

Han existido dos etapas de deposición y posterior erosión de los sedimentos, estos dos (02) ciclos han sido responsables del modelamiento de los niveles antiguos en el valle, los cuales han sido clasificados en:

- Cauce mayor o lecho actual (Q-to)
- Primera terraza aluvial (Q-t1)

En el cauce o lecho actual se distinguen clastos, gravas con arenas gruesas, arenas con bloques y en menor proporción de arenas finas.

En la terraza los materiales son limos arcillosos y yesos de color pardo amarillento, también presentan arenas y guijarros con inclusiones de cantos. Ver Mapa N° 04.

### Glacis Coluviales (Q-col)

Materiales ubicados en áreas de pie de pendiente y están compuestos por materiales polimixtos y de diversos tamaños. Estos depósitos son pequeños por lo cual no son mapeados

Cuadro N° 06  
Resumen de características geológicas del acuífero Casitas

TIEMPO - ESTRATIGRAFÍA				TIPO DE ACUÍFERO	CARÁCTER HIDROGEOLÓGICO	COMPOSICIÓN LITOLÓGICA
ERATEMA	SISTEMA	SERIE	FORMACIÓN			
Cenozoico	Terciario	Pleistoceno	Salinas		Basamento Impermeable	Areniscas, conglomerados con arenas
Cenozoico	Terciario	Holoceno	Máncora		Basamento Impermeable	Lutitas, areniscas, areniscas lentes conglomerádicos
Cenozoico	Terciario	Eoceno	Talara		Basamento Impermeable	Conglomerados, areniscas conglomerádicas
Cenozoico	Terciario	Eoceno	Chira Verdum		Basamento Impermeable	Lutitas areniscas
Cenozoico	Terciario	Oligoceno	Heath		Basamento Impermeable	Lutitas y areniscas
Cenozoico	Cuaternario	Reciente	Dep. Aluviales	Libre	Acuif. Aprovechable	Gravas, Arenas gruesas y Bloques
Cenozoico	Cuaternario	Reciente	Glasís Coluviales		Acuif. sin recarga	Arenas, guijarros y fragmentos

### b) Hidrogeología

Para describir la forma del acuífero del área en estudio, éste ha sido dividido en dos partes; que se detalla a continuación: La primera tiene forma alargada y está ubicada en la parte superior y comprende desde los sectores El Ciénego y Pitayal y se va ensanchando aguas abajo a ambas márgenes de la quebrada Casitas, terminando entre los cerros Casillas y Viña de Gato, hasta el sector Cañaveral.

La segunda tiene forma cónica y comprende desde el sector Casitas ensanchándose progresivamente aguas abajo a ambas márgenes de la quebrada Casitas y bruscamente entre los sectores que limitan con los cerros Serrano y San Andrés, para angostarse entre los sectores Pan Viejo y Poza Honda, continuando hacia los sectores Suárez y Pedregal, ubicados en ambas márgenes de la quebrada Bocapán.

En relación a sus límites: el acuífero por el **norte**, limita lateralmente en ambas márgenes de la quebrada Cherrelique (Casitas) con afloramientos rocosos; aguas arriba se observa la presencia de los cerros la Cueva del León, Gramadal, Bejucal y Cherrelique, por el **sur**, limita con los afloramientos rocosos de los cerros Pangaruyo, Florida, Colorado y Cajones.

El reservorio acuífero está conformado principalmente por depósitos aluviales y en forma secundaria por coluviales, siendo el más importante para la prospección y explotación de las aguas subterráneas, el primero de los nombrados.

Mapa 04

Litológicamente los aluviales están constituidos por cantos rodados, gravas, guijarros, arenas, arcillas y limos entremezclados en diferentes proporciones, formando horizontes de espesores variables, que se presentan en forma alternada en sentido vertical.

La napa freática es predominantemente libre, siendo su fuente de alimentación las aguas que se infiltran en la parte alta de la cuenca, así como también, las infiltraciones que se producen en las quebradas, por los canales de riego sin revestir y en las áreas que se encuentran bajo riego.

La morfología de la napa presenta las siguientes características: el sentido del flujo subterráneo tiene mayormente dos orientaciones principales de este a oeste y de sur a norte, encontrándose gradientes hidráulicas mínimas de 0,31 % en los sectores La Rinconada Huaquillas (zona II) y gradientes máximas de 2,81 % en el sector Pueblo Nuevo (zona III), por otro lado la cota de nivel de agua mínima es de 66,00 m.s.n.m. ubicada en el sector Pueblo Nuevo (zona III); mientras que la cota máxima es de 170,00 m.s.n.m. en el sector El Ciénego.

La profundidad de la napa freática en el área investigada fluctúa entre 0,42 – 11,26 m, observándose que las mayores profundidades de los niveles se encuentran entre 5,80 – 11,26 m (sectores Averías y El Ciénego – Distrito de Casitas); mientras que las más superficiales (0,42 – 0,60 m) en los sectores Cherrelique y La Florida

Las tres (03) pruebas de bombeo han permitido calcular los parámetros hidráulicos en parte de la quebrada Casitas, cuyo análisis permite deducir que el acuífero es libre y presenta de regulares a buenas condiciones hidráulicas. Los radios de influencia en Casitas fluctúan entre 93,00 y 263,00 m, observándose en ciertos sectores una marcada interferencia de pozos y por consiguiente descensos de los niveles de agua. .

#### 4.1.4 CARACTERIZACIÓN GEOLOGICA E HIDROGEOLOGICA DEL ACUÍFERO MOTUPE

##### a) Geología

Las formaciones geológicas que comprende el área de estudio son las siguientes:

##### Complejo Olmos (Pe -co)

Secuencia de rocas metamórficas que consiste de esquistos con coloraciones gris verdosa a gris oscuras cortadas con venillas de cuarzo y asociadas con algunas anfibolitas. El complejo Olmos, está conformado por tonalitas y granodioritas del Batolito de la Costa, en otros casos los volcánicos terciarios (Porculla) cubren a las rocas metamórficas.

Relaciones estratigráficas, estructurales y grado de metamorfismo regional indican que es de edad cambriana.

Rocas de este complejo afloran al noreste del área en los cerros Flor de Ojal, Pan de Azúcar y Ficuar Panta los mismos que sirven para delimitar el acuífero en el área de estudio. Hidrogeológicamente, carece de importancia para la prospección de aguas subterráneas.

##### Formación Salas (Pi - s )

Formación conformada por filitas pelíticas y tobáceas de color marrón y negras, se presentan laminadas o en capas delgadas y afloran en cerros bajos y disectados. La mayor parte de esta secuencia consiste en material pelítico, pero en casi todos los afloramientos hay presencia de rocas de origen volcánico.

Afloran en los cerros La Cascara, Sonolipe, Santo Fraile y Quebrada El Mango, se le considera perteneciente al paleozoico inferior, debido a su grado de metamorfismo y correlación con otras secuencias similares en otras regiones del Perú.

Carece de importancia hidrogeológica para la prospección de las aguas subterráneas y representa el límite del acuífero en el valle en estudio.

### **Grupo Goyllarisquizga ( Ki - g )**

Aflora al suroeste y noroeste en los cerros Briceño y Chalpón.

Está conformada por areniscas y cuarcitas blanquecinas y marrones, estratificadas en capas medianas e intercaladas con horizontes de lutitas de color gris, marrón y rosado. En el área de estudio La formación Goyllarisquizga no contiene fósiles. Se le considera del Cretáceo Inferior.

### **Volcánico Porculla ( Tim - Vp )**

Es una secuencia gruesa de volcánicos mayormente ácidos, que afloran a lo largo de la cresta de la cordillera occidental, y toma el nombre de Porculla del área del mismo nombre por donde pasa la carretera Olmos – Marañón. La litología típica está constituida por dacitas con intercalaciones de andesitas, donde los piroclastos son más abundantes que los derrames volcánicos.

Esta misma litología caracteriza tanto a los derrames y brechas como a los sills que están asociados con el volcánico Porculla. En el área de estudio aflora al noroeste, al este y al suroeste en los cerros Chalpón, Número Ocho, Jaguay Negro, Laja Blanca y Pumasirca. El volcánico Porculla de acuerdo a su posición estratigráfica, debe pertenecer al terciario inferior a medio, ya que infrayace al volcánico Huambos del terciario superior.

### **Depósitos Aluviales (Q –al)**

El río Motupe, ha transportado y depositado sedimentos como arcillas, limos, gravas y cantos. Las observaciones de campo realizadas en el área de estudio, permite identificar que existen pisos de valles, desembocaduras de quebradas y terrazas, los mismos que han originado a la formación de desniveles y o terrazas fluviales. Ver Mapa N° 05.

### **Rocas Intrusivas**

Están representadas por el complejo intrusivo del batolito de la costa: Se les ubican en todo el área baja del estudio, consiste en cuerpos grandes de dacita y tonalita.

La deformación de estas rocas es de un tipo muy diferente al tectónico del área adyacente y no parece que se tratara de un intrusivo emplazado en una estructura preexistente, cuyos levantamientos mencionados se deben al emplazamiento del magma. Representa el basamento rocoso impermeable.

Mapa N° 05

Cuadro N° 07  
Resumen de características geológicas del acuífero Motupe

TIEMPO - ESTRATIGRAFÍA				TIPO DE ACUÍFERO	CARÁCTER HIDROGEOLÓGICO	COMPOSICIÓN LITOLÓGICA
ERATEMA	SISTEMA	SERIE	FORMACIÓN			
Precambriano			Complejo Olmos		Basamento Impermeable	Esquistos, tonalitas, granodioritas
paleozoico	Ordovisico	Inferior	Salas		Basamento Impermeable	Pelíticas, tobas
Mesozoico	Cretáceo	Inferior	Grupo Goyllarisquizga		Basamento Impermeable	Areniscas, cuarcitas, lutita
Cenozoico	Terciario	Inferior Medio	Volcánico Porculla		Basamento Impermeable	Dacitas, andesitas, Brechas
Cenozoico	Cuaternario	Pleistoceno-Reciente	Dep. Aluviales	Libre	Acuif. Aprovechable	Arcillas, limos, gravas y cantos
Paleozoico			Intrusivas		Basamento Impermeable	Dacitas, tonalitas

## b) Hidrogeología

El acuífero del valle Motupe se divide en dos partes: la primera tiene forma triangular y está comprendida entre los sectores Tongorrapi - Marripón y Motupe, mientras que la segunda, abarca desde Motupe hasta los sectores Anchovira y Lindero y tiene forma alargada; extendiéndose en ambos márgenes del río Motupe y a la vez, se encuentra interconectado hidráulicamente con el acuífero del valle La Leche.

El valle en toda su extensión está limitado lateralmente por masas rocosas que afloran en ambos márgenes del río, así tenemos que en la parte norte el límite del acuífero está representado por afloramientos rocosos representado por los cerros Chalpón, Pan de Azúcar, Filo de Ojal, Mocho y Sonolipe mientras que en la parte sur, está limitada por los cerros Briceño, Reque, Apurlé, La Cáscara y la Vieja.

El límite inferior lo constituyen los afloramientos rocosos antes nombrados, mientras que el límite superior está representado por la superficie freática.

El acuífero del valle Motupe se va ensanchando progresivamente en sección transversal, así observamos que en el sector de Tongorrapi tiene un ancho de 1,7 Km., llegando en los sectores Arrozal y Huaca del Muerto a 4,4 Km; mientras que hacia la parte sur, presenta dimensiones que fluctúan entre 6,4 y 6,7 Km.

La profundidad del basamento rocoso (espesor del acuífero), de acuerdo a la geofísica (resistividad eléctrica) varía entre 19,00 m (sector El Cardo – zona I) y 177,00 m (sector Fundo Prado – zona II).

El análisis de la prospección geofísica (sondeos eléctricos verticales y planos geofísicos) a determinado que el acuífero saturado presenta dos (02) horizontes geoelectrónicos: El superior, con resistividades que fluctúan entre 20 y 60 Ohm-m llegando incluso a 90 Ohm-m (posiblemente conformado por clastos gruesos y medianos y/o agua almacenada poco mineralizada), mientras que su espesor varía de 20,00 a 87,00 m, pudiendo llegar a 99,00 m (El Papayo).

El horizonte inferior presenta resistividades que varían de 2 a 20 Ohm.m, valores que representan clastos finos y/o agua almacenada de pésima calidad. Su espesor fluctúa entre 50,00 y 130,00 m, llegando incluso hasta 155,00 m (El Esfuerzo).

De los dos horizontes geoelectrónicos saturados (superior e inferior) determinados en el acuífero del valle en estudio, el superior presenta aceptables condiciones geoelectricas para la explotación de las aguas subterráneas, en consecuencia el horizonte inferior, por los resultados obtenidos se presenta un acuífero de escasa calidad

El reservorio acuífero está constituido principalmente por depósitos aluviales y coluviales, siendo el más importante el primero de los nombrados; el cual litológicamente está constituido por cantos, gravas, arena, arcillas y limos formando horizontes de espesores variables los mismos que se presentan en forma alternada en sentido vertical.

El acuífero en el área de estudio está delimitado lateralmente por masas rocosas y cerros testigos que afloran a ambos lados del valle, los mismos que pertenecen a la formación Salas y al grupo Volcánico Porculla.

En el área investigada, la napa freática contenida en el acuífero es libre y superficial, siendo su fuente de alimentación; las aguas que se infiltran en las partes altas de la cuenca (zona húmeda), así como también las que se infiltran a través del lecho del río, en los canales sin revestir y, en las áreas de cultivo que se encuentran bajo riego.

La morfología de la napa es relativamente uniforme, observándose que el desplazamiento del flujo subterráneo sigue una trayectoria principalmente de noreste a suroeste. En el área de estudio, en la zona I (sectores Parranal, Huaca Colorada, Molino el Carmen, Marripón, Salitral, La Capilla, Tongorrape, Chanduví y Salitral), se ubican los niveles de agua más superficiales fluctuando éste entre 1.00 y 6.90 m, mientras que los niveles más profundos (7.00 y 20.40 m) en ciertos sectores de las zonas II y III como Escusa Baraja, Prada, Cruz Bandera, Briceño, Papayo, Cerro la Vieja, San Isidro, Quina – Quina, Apurle y Anchovira.

En el área de estudio se han ejecutado ocho (08) pruebas de bombeo, cuyo resultado (parámetros hidráulicos) ha determinado que el acuífero es libre y presenta de regular a buenas condiciones hidráulicas.

Los radios de influencia en el área investigada para bombeos de 6 a 24 horas /día fluctúan entre 105,42 y 508,34 m respectivamente, valores que han determinado que mayormente no existen problemas de interferencia de pozos.

#### 4.1.5 CARACTERIZACION GEOLÓGICA E HIDROGEOLÓGICA DEL ACUÍFERO ZAÑA

##### a) Geología

Las formaciones Geológicas que comprenden el área de estudio son las siguientes:

##### **Formación Salas (Pi – s)**

Formación de edad ordovícica (paleozoico inferior), está conformado por filitas pelíticas y tobáceas; de color marrón negruzco, laminadas o en capas delgadas que afloran en cerros bajos.

La mayor parte de la secuencia consiste en material pelítico, pero en casi todos los afloramientos se puede apreciar la presencia de rocas de origen volcánico. Esta formación aflora en la parte oeste, margen izquierda del río Zaña aguas abajo en los cerros Purrulen, entre los sectores La Iglesia, El Palmo y Lagunas. Representa al basamento rocoso impermeable en el área de estudio.

##### **Formación La Leche (Tr-I)**

Aflora al este del valle, en la margen derecha del río Zaña aguas arriba entre el distrito Nueva Arica y el Cerro El Alumbra con espesor entre 400 y 500 m hasta un máximo de 1000m. Formación mesozoica (triásico superior) consiste en calizas grisáceas algo silicificadas en capas delgadas o medianas intercaladas con capas de lutitas y material volcánico, es bastante fosilífera con fauna diversificada. Es el basamento rocoso impermeable.

### **Volcánico Oyotún (J-Vo)**

Esta formación se le observa en los cerros “El Alumbra”, “Sintupaya”, “Portachuelo” “Minas” y “Perol”; ubicados en ambas márgenes del río Zaña en espesor de aproximadamente 500 m.

Se presenta en afloramientos macizos e irregulares consistentes de bancos medianos o gruesos de piroclastos, derrames andesíticos y dacíticos, la roca más común es una brecha andesítica y la dacita porfirítica se presenta como flujo o como piroclástico, con fenocristales de plagioclasas y cuarzo, tal como aflora en Batan Grande, Zaña y Chancay.

Es una secuencia gruesa de rocas volcánicas con escasas intercalaciones sedimentarias y es el basamento rocoso impermeable.

### **Grupo Goyllarisquizga (Ki-g)**

Aflora en la parte sur del distrito de Oyotún, así como en ambas márgenes del río Nanchoc (afuente de río Zaña), en los cerros La Gruta, Oyotún y Pedregal.

Está conformado por areniscas y cuarcitas blanquecinas marrones bien estratificadas en capas medianas e intercaladas con horizontes de lutita gris marrón y rosada con mantos de carbón. La estratificación cruzada es común en la mayoría de los afloramientos, lentes conglomerádicos se intercalan con las cuarcitas y son del Cretáceo Inferior.

### **Formación Inca (Km-i)**

Aflora en el Cerro Corvacho, Pampas San Nicolás, Mata Indio; Cerro Portachuelo y al sur de Oyotún en ambas márgenes del río Nanchoc y en Chilcal Alto (al NE de Oyotún); consiste de areniscas y lutitas con intercalaciones calcáreas caracterizándose por la naturaleza ferruginosa de sus sedimentos. Yace discordantemente sobre sedimentos clásticos del Grupo Goyllarisquizga. Su espesor varía de 4 m a más de 100 m. y es del Cretáceo Medio.

### **Formación Chulec (Km-ch)**

Esta formación aflora en Pampas de San Nicolás, Mata Indio, Cerros Portachuelo y Corvacho, también aflora al sur de Oyotún; en ambas márgenes de río Nanchoc y Chilcal Alto (al NE de Oyotún).

Consiste de lutitas, margas y calizas nodulares. Los afloramientos cretáceos del Valle de Zaña presentan una fàcie lutàcea donde la formación es bien delgada.

### **Formación Pariatambo (Km – pa)**

Afloran en los alrededores del Cerro Culpón en el valle de Zaña (C. Chongoyape). Su espesor varía de 100 a 300 m. Aflora en los cerros Corvacho, De la Cruz, Conquis, Pencal, El Pato y Pan de Azúcar.

Conformada por calizas, lutitas, y tobas, en delgadas capas uniformemente estratificadas, La caliza es fina, bituminosa, de estratificación delgada y uniforme (forma lajas), lutitas negras bituminosas en intercalaciones delgadas entre capas calcáreas, formación fosilífera donde las intercalaciones tobáceas se ven alrededor del cerro Culpón en el valle Zaña.

### **Grupo Quilquiñan (Km –pq)**

Aflora en los cerros Vizcachas, Negro (al sur de Oyotún) y Pabellón, consiste de lutitas friables gris oscuro y margas azuladas en capas delgadas que intemperizan a marrón oscuro o marrón rojizo. El espesor promedio varía de 150 a 200 m. La litología y la fauna abundante indican que esta unidad se depositó en un mar somero.

### **Volcánico Llama (Ti – VII)**

Formada por una secuencia gruesa de volcánicos que afloran en toda la parte occidental, en la mayoría de los casos es resistente a la erosión y constituye escarpas o farallones.

Consiste de conglomerado basal rojizo intercalado con capas de toba andesítica de color morado o violáceo. Los fragmentos del conglomerado son guijarros bien redondeados de cuarcita con proporciones menores de caliza y roca volcánica.

Este aflora en los cerros testigos como la Mira, Songoy y Guitarra.

#### **Andesitas (T-an).**

Pequeño afloramiento en las inmediaciones de las coordenadas UTM 9226000 m N y 670000 m E no muy representativo en la litología

#### **Depósitos Fluviales (Qr – FI)**

El cauce del río Zaña se encuentra cubierto por depósitos fluviales pertenecientes al cuaternario reciente. Están constituidos principalmente por cantos heterométricos , gravas, arenas y limos.

#### **Depósitos Aluviales (Qr – AI)**

Esta unidad corresponde a los depósitos recientes constituidos por cantos, gravas, arenas y limos acarreados por las aguas que drenan desde las cumbres (distrito Oyotún), producido por la erosión de diferentes unidades litológicas.

Se distinguen:

Cauce mayor, contiene cantos rodados, bloques y sedimentos de arena y las terrazas se caracterizan por estar compuestas de limos, gravas, arcillas arenas, gravillas conglomerads.

Las pampas tienen elevaciones que fluctúan entre 25 y 200 m.s.n.m, las cuales consisten de abanicos extensos de material conglomerádico. Ver Mapa N° 06.

#### **Depósitos Eólicos (Qr-e)**

Existen mantos regulares de arenas eólicas y forman depósitos denominadas dunas .

#### **Rocas Intrusivas (Ki-to, Kti-to, Kti-mz, Kti gd, Kti-di, Kti-ad).**

Afloran indistintamente en varias partes del área y son tonalitas, monzonitas, granodioritas, dioritas y adamelitas.

Corresponden al complejo intrusivo del Batolito de la costa (edad mesozoico – cenozoico). Está conformada por rocas ígneas plutónicas que se observan a lo largo del complejo intrusivo, constituido por grandes.

Mapa 06

Cuadro N° 08  
Resumen de características geológicas del acuífero Zaña

TIEMPO - ESTRATIGRAFÍA				TIPO DE ACUÍFERO	CARÁCTER HIDROGEOLÓGICO	COMPOSICIÓN LITOLÓGICA
ERATEMA	SISTEMA	SERIE	FORMACIÓN			
Paleozoico	Ordovisico	Inferior	Salas		Depósitos cuaternarios de	Filitas, tobáceas
Mesozoico	Triasico	Noriano	La Leche		Basamento Impermeable	Calizas, Lutitas, Tobas y Derrames
Mesozoico	Jurásico		Volcanico Oyotún		Basamento Impermeable	Piroclastos, Andecítica, brecha, dacita, porfírica
Mesozoico	Cretáceo	Inferior	Grupo Goyllarisquizga		Basamento Impermeable	Areniscas, cuarcitas, lutita
Mesozoico	Cretáceo	Medio	Inca		Basamento Impermeable	Areniscas, lutitas, calizas, tobas,
Mesozoico	Cretáceo	Medio	Chulec		Basamento Impermeable	Lutitas, margas nodulares, calizas tobas
Mesozoico	Cretáceo	Medio	Pariatambo		Basamento Impermeable	Calizas, lutitas y tobas
Mesozoico	Cretáceo	Medio	Quilquiñan		Basamento Impermeable	Lutitas, margas
Cenozoico	Terciario	Inferior	Volcánico Llama		Basamento Impermeable	Conglomerado, toba andesítica
Cenozoico	Terciario		Andesitas		Basamento Impermeable	Rocas Andesíticas
Cenozoico	Cuaternario	Reciente	Fluviales	Libre	Acuíf. Aprovechable	Gravas, arenas, limos
Cenozoico	Cuaternario	Pleistoceno a Reciente	Aluviales		Acuíf. Aprovechable	Cantos, gravas, arenas, limos
Mesozoico	Cretáceo	Inferior	Intrusivos		Basamento Impermeable	Tonalita, granodioritas, diorita, adamelita, monzonita, Porfido cuarcífero andesita intrusiva

## b) Hidrogeología

El acuífero que es principalmente aluvial de edad cuaternaria. Litológicamente está constituido por cantos, gravas, guijarros, arenas y limos entremezclados en diferentes proporciones formando horizontes (capas y lentes) de espesores variables y se presentan en forma alternada en sentido vertical.

Los afloramientos rocosos constituyen el basamento impermeable en el área de estudio y está conformado por rocas ígneas intrusivas del batolito de la costa así como por rocas volcánicas y sedimentarias de las formaciones geológicas Salas, La Leche, Oyotún, Goyllarisquizga, Inca, Chulec, Pariatambo, Pulluicana, Quilquiñan y Llama.

En el valle de Zaña, el espesor de los depósitos sueltos (cuaternarios) que cubren el lecho rocoso impermeable, llega hasta 190,00 m (Porvenir – Otra Banda), asimismo existen otros sectores de gran potencia como la pampa San Nicolas, San Rafael (125,00 m), Pampa San Pedro (98,00 m) y Huaca del Toro (89,00 – 95,00 m) · El acuífero del valle Zaña está constituido por varias capas que conforman dos sub horizontes, el superior de mejor calidad que el inferior pero de menor espesor.

La prospección geofísica ha definido que el espesor saturado tiene espesores que varían entre 15,00 y 68,00 m, aunque en los sectores Tres Piedras y San Pedro tiene espesores mínimos (4,00 – 8,00 m), incrementándose en Rafán, San Miguel y San Aurelio donde llega a 63,00 m.

La prospección geofísica ha identificado y delimitado áreas con buenas, regulares y malas y/o pésimas condiciones geoelectricas destacando en la zona I por su extensión y sus buenas condiciones la que comprende desde el sector El Triunfo hasta El Cojal pasando por los sectores Saldaña y La Viña. Asimismo, se han delimitado áreas de menor extensión que se observa en los sectores Dos Corrales, La Compuerta – Reservorio y Santa Rosa

El reservorio acuífero está conformado principalmente por depósitos aluviales de edad cuaternaria y son los más importantes para la prospección y explotación de las aguas subterráneas. Está conformado litológicamente por cantos, gravas, guijarros, arenas, arcillas y limos entremezclados en diferentes proporciones, formando horizontes de espesores variables, los mismos que se presentan en forma alternada en sentido vertical.

La napa freática en el valle de Zaña es predominantemente libre; siendo su fuente de alimentación, las aguas que se infiltran de la parte alta de la cuenca, río Nanchoc (zona húmeda); así como también las que se infiltran a través del lecho del río Zaña, de los canales de regadío sin revestir y, en las áreas de cultivo que se encuentran bajo riego. También son zonas de recarga al acuífero, las aguas que provienen de las quebradas Songoi, El Alumbral y El Cerezo.

El análisis de la morfología de la napa en el área de estudio concluye que en las zonas II y III el sentido del flujo subterráneo es mayormente de noreste a suroeste, con una gradiente hidráulica que varía de 0,27 % a 0,62 % y con cotas del nivel de agua que fluctúan entre 98,00 36,00 m.s.n.m y 42,00–6,00 m.s.n.m; mientras que en la zona I, el flujo predominante se orienta de sureste a noroeste, con una gradiente hidráulica promedio de 0,82 % y con cotas del nivel de agua que varían de 200,00 a 150,00 m.s.n.m.

La profundidad de la napa freática en el área investigada se ubica mayormente entre 0,15 – 0,43 m y 16,10 – 17,60 m; llegando incluso hasta 23,20 m, observándose que en la zona II – Zaña, los niveles fluctúan entre 0,15 y 23,20 m (Salitral y Popán Bajo), en la zona I varía entre 1,15 y 17,60 m. (Oyotún, Nueva Arica); mientras que en la zona III, los niveles fluctúan entre 0,43 y 21,00 m.

Con los resultados de las 15 pruebas de bombeo se ha calculado los parámetros hidráulicos en todo el valle Zaña, cuyo análisis permite deducir que el acuífero es libre y, presenta de regulares a buenas condiciones hidráulicas. Los radios de influencia en Zaña para bombeos de 6 a 24 horas fluctúan entre 63,00 – 209,00 y 126,00 – 418,00 m respectivamente, por consiguiente en la mayoría de pozos no existe interferencia; solo puntualmente en los pozos IRHS – 95 (Lagunas) e IRHS 93 (Cayaltí) podría haber cierta interferencia con los pozos vecinos.

#### **4.1.6 CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA E HIDROGEOLÓGICA DEL ACUÍFERO CHICAMA**

##### **a) Geología**

Las formaciones geológicas que comprende el área de estudio son las siguientes:

##### **Grupo Zaña (Jr – z)**

Es una secuencia volcánico – sedimentaria de edad Triásico Superior cuyo afloramiento consiste de lavas, tufos y brechas de composición predominante andesítica, con colores verde oscuro, negruzco. Los derrames se intercalan con capas de lutitas negras silisificadas. Aflora en el cerro Malabrigo, al suroeste del Puerto Chicama; subyace a la formación Chimú y su piso es desconocido. Está intruído por apófisis adamelíticos del batolito de la Costa.

##### **Formación Chicama (Js – Chic)**

Afloran en los cerros Malabrigo, Fajado, San Antonio, Atahualpa, Pintado, Tres Cruces, Mal Paso y Botija. Es una sucesión sedimentaria alternada de lutitas pizarrosas y arenosas que subyace en discordancia al grupo Zaña, en el que se puede apreciar gran cantidad de diques que cortan al paquete sedimentario así como sills andesíticos e intrusiones graníticas, que han sido inyectados entre estratos.

##### **Formación Chimú (Ki – Chim)**

Representa los horizontes inferiores del Cretáceo, está constituida por paquetes generalmente gruesos de areniscas y cuarcitas blancas, grises hasta pardas de grano fino a grueso y formas subredondeadas, con

intercalaciones de lutitas pizarrosas de estratificación delgada y colores generalmente oscuros. Esta formación aflora también en el cerro Malabrigo ubicado a unos 3 kilómetros al suroeste del Puerto Chicama.

#### **Formación Santa - Carhuaz (Ki – Saca)**

Está constituida por las formaciones Santa y Carhuaz. La formación Santa está conformada en la parte inferior por una serie interestratificada de lutitas negras, que pasan hacia la parte superior a lutitas oscuras con intercalaciones de limolitas y ocasionalmente por capas de caliza. Su espesor se ha estimado en 100 metros.

La formación Carhuaz está constituida por una potente secuencia de lutitas arenosas pardo rojizas, estratificadas en lechos delgados. Contiene intercalaciones de limolitas marrón rojizas en capas gruesas y medianas y lechos de cuarcitas pardo grisáceas en tonos rojizos por intemperismo. En los niveles inferiores se presentan ocasionales capas delgadas de calizas negras de grano fino. Afloran en el cerro Salado, ubicado en la parte alta del valle Chicama.

#### **Formación Volcánico - Calipuy (Kti – vca)**

El Volcánico – Calipuy está constituido en su parte inferior por derrames riolíticos, riódacíticos y dacíticos muy alterados, de colores gris y rojizo, textura porfirítica, estratificados en bancos gruesos y medianos. La formación tiene un espesor mayor de 1,450 metros y en algunos casos presentan pliegues amplios. Aflora en los cerros Yugo e Higuérón.

#### **Depósitos Aluviales (Q-al)**

Son parte de estos materiales los de cobertura que se ubican en cuerpos lecho de río, y terrazas (Q-to, Q-T1 y Q-T2) El material aluvial está constituido por cantos, gravas, arenas y arcillas; generalmente mal clasificadas: las gravas se componen de elementos subangulosos y subredondeados de diversos tipos de roca de las diversas formaciones sedimentarias descritas, y de algunas intrusiones graníticas y granodioríticas. Tienen amplia distribución en la parte baja del valle, desde la localidad de Sausal hasta el mar, formando la planicie costera. Conectados a esta planicie existen muchos conos de deyección secundarios procedentes del flanco occidental de las formaciones descritas.

El espesor de los depósitos aluviales varía mayormente de 33 a 231 m, llegando incluso a 263 m en el sector Cartavio (prospección geofísica). En el campo se ha observado la existencia de dos etapas de sedimentación y posterior erosión, los que han dado lugar al modelamiento de dos (02) niveles antiguos del valle y la formación de terrazas. Ver Mapa N° 07.

#### **Depósitos Eólicos (Q – e)**

Depósitos de arenas transportados por el viento, son pequeños depósitos por lo cual no aparecen en el mapa.

#### **Depósitos Marinos (Q – m)**

Comprenden las pampas eriazas que se extienden desde el borde litoral hasta los primeros contrafuertes de la cordillera; son suelos profundos, de textura arenosa, suelta en la mayoría de las veces y cementada por sales en algunos casos. A las arenas que constituyen estos suelos, los autores del estudio mencionado les atribuyen un origen marino, destacando la existencia de conchuelas en los diferentes perfiles. Su topografía es plana con áreas desprovistas de dunas, aptas para el cultivo, y con sectores de abundantes dunas impropias para el laboreo agrícola. Destacan en las orillas del puerto Malabrigo, específicamente en Punto de Chicama.

#### **Rocas Intrusivas (Kti-di, Kti-gd, Kti-gr)**

Las rocas intrusivas forman parte del gran batolito de la costa y se encuentran emplazadas en formaciones sedimentarias y volcánicas de edad mesozoica y terciaria. Están presentes: Dioritas, granodioritas, granito, diorita.

**Mapa 07**

Cuadro N° 09  
Resumen de características geológicas del acuífero Chicama

TIEMPO - ESTRATIGRAFÍA				TIPO DE ACUÍFERO	CARÁCTER HIDROGEOLÓGICO	COMPOSICIÓN LITOLÓGICA
ERATEMA	SISTEMA	SERIE	FORMACIÓN			
Mezozoico	Triásico – Jurásico		Grupo Zaña		Basamento Impermeable	Lavas, tufos, brechas, intercalan y lutitas
Mezozoico	Jurásico	Superior	Chicama		Basamento Impermeable	Lutitas, diques, andecíticas, intrusiones graníticas y granodioríticas
Mezozoico	Cretáceo	Inferior	Chimú		Basamento Impermeable	Areniscas, cuarcitas, lutita
Mezozoico	Cretáceo	Inferior	Santa Carhuaz		Basamento Impermeable	Limolitas, lutitas, arenosas, limolitas marrón, calizas negras
Mezozoico	Cretáceo Terciario	Inferior	Volcánico Calipuy		Basamento Impermeable	Riolíticos, Riodacíticos y dacíticos
Cenozoico	Cuaternario	Pleist. - Reciente	Dep. Aluviales	Libre	Acuif. Aprovechable	Cantos, gravas, arenas, arcillas
Cenozoico	Cuaternario	Reciente	Dep. eólicos		Mat. De Cobertura	Arenas
Cenozoico	Cuaternario	Reciente	Depósitos marinos		Mat. De Cobertura	Arenas
Mezozoico	Cretáceo Terciario	Inferior	Rocas Intrusivas		Basamento Impermeable	Diorita, Granodiorita y granito

## b) Hidrogeología

El valle Chicama tiene forma cónica, observándose que su parte superior (inicial) es corto ensanchándose a partir del sector San Antonio, hasta llegar al litoral. El acuífero está conformado en su totalidad por materiales de origen aluvial y eólico, los mismos que constituyen el relleno del fondo del valle y la cobertura de las pampas de la costa; todos los materiales pertenecen al cuaternario reciente. En algunos sectores, el valle presenta pequeños afloramientos de diversas formaciones sedimentarias. El acuífero en la parte alta está delimitado en su margen derecha por afloramientos rocosos representados por los cerros Calvayupe, Jaguar, La Chilona, Orificio y Calvario; mientras que en la margen izquierda por los cerros Grande, Salado y Causal.

A partir del sector San Antonio, el acuífero inicia su ensanchamiento presentando dimensiones variables en su flanco derecho donde se encuentran los cerros Fajada, San José y Tres Cerritos, lo mismo sucede en el flanco izquierdo donde está delimitado por los cerros Causal, Gasñape, Tres Cruces, Tres Picos, Mal Paso, Cabezón, El Portachuelo y Piedra Parada. En el sector Malabrigo, existen depósitos aluviales y marinos, éstos últimos indican la cercanía al litoral. Ver fotografía del Anexo I.

El acuífero presenta dimensiones variadas; así en la parte alta, entre los sectores Punta Moreno y El Progreso, el ancho del acuífero fluctúa entre 1,700 m y 1,900 m; mientras que entre los sectores Hacienda de Jaguar y Hacienda Pampa de Jaguay, oscila entre 1,600 m y 2,250 m; lugares donde confluyen varias quebradas; las mismas dimensiones antes descritas se prolongan hasta el sector Hacienda Sausal. En el sector San Antonio, el acuífero se ensancha hasta la altura del sector hacienda Gasñape, donde presenta dimensiones entre 5,500 m y 8,000 m. A partir de este sector, el acuífero presenta dimensiones mayores a los descritos anteriormente.

El acuífero está constituido principalmente por sedimentos aluviales y coluviales del cuaternario reciente. Litológicamente está conformado por bloques, cantos, guijarros, gravas, arenas, arcillas y limos entremezclados en diferentes proporciones formando horizontes de espesores variables, los mismos que se presentan en forma alternada en sentido vertical.

La napa freática contenida en el acuífero es libre y superficial, siendo su fuente de alimentación las aguas que se infiltran en la parte alta de la cuenca (zona húmeda), así como también las que se infiltran a través del lecho del río, en los canales de riego no revestidos y, en las áreas de cultivo.

La morfología de la napa es relativamente uniforme, observándose que el desplazamiento del flujo subterráneo tiene una trayectoria principal; que es de noreste a suroeste. Asimismo, su gradiente hidráulica varía de 0,40 % a 0,57 %; puntualmente llega hasta 2 %.

El nivel de agua más superficial (0.30 – 0.90 m) se encuentra en las zonas III (Pancal; El Algodonal, La Perla de Macabí) y IV (Molino Cajalenque, Nazareno); mientras que los niveles más profundos, oscilan entre 19,40 y 28,30 m, encontrándose incluso hasta de 60,05 m en el sector Pascona (Zona II).

En el área de estudio se han ejecutado diecinueve (19) pruebas de bombeo, cuyo resultado (parámetros hidráulicos) permite indicar que el acuífero es libre y presenta aceptables condiciones hidráulicas. El radio de influencia en el área investigada para bombeos de 6 a 24 horas/día fluctúa mayormente entre 33,00 y 263,00 m, aunque en ciertos lugares llega a 480 m. Lo anterior permite deducir que mayormente en todo el área de estudio, no existen problemas de interferencia de pozos.

#### 4.1.7 CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA E HIDROGEOLÓGICA DEL ACUÍFERO MOCHE

##### a) Geología

Las formaciones geológicas que comprende el área de estudio son las siguientes:

##### **Formación Chicama (Js - chic)**

Aflora mayormente en los alrededores del distrito de Laredo, en los cerros Santa Rosa, Simbal, El Alto Cruz Blanca y en el flanco oriental del cerro Jesús María. es una secuencia de rocas sedimentarias de gran potencia perteneciente al Jurásico Superior. La serie muestra muy buena estratificación con capas que varían entre 0,10 m y 0,80 m observándose vetas de yeso. En la secuencia de roca se observan lutitas, areniscas cuarzosas y ortocuarcitas, así como también algunas limolitas, capas de calizas recristalizadas y cerca de estas últimas, eventuales estratificaciones de lutitas y areniscas calcáreas. Dentro de todo este conjunto; las rocas predominantes son las lutitas, las cuales se presentan en tono gris oscuro, verde grisáceo y marrón. Se encuentran estratificadas en capas de 0,03 a 0,20 m. A las areniscas en la gran mayoría de los casos se les encuentra bastante silicificadas, de color variable entre blanquecino y amarillento, grano fino y muy buena cementación.

Las ortocuarcitas son blanco grisáceas, de grano fino a medio, fuertemente cementadas. Las calizas se presentan recristalizadas, estratificadas en capas delgadas y con colores que varían entre gris y gris oscuro. Pero delimita el acuífero del valle.

##### **Grupo Casma (Ki - c)**

Aflora en los cerros Compartición y Compañía (margen derecha del río Moche), Cabras, Blanca, Orejas y flanco occidental del cerro Santo Domingo, suprayace en discordancia angular a la formación Chicama y de acuerdo a su posición estratigráfica y su fauna es del cretáceo inferior a medio.

Está conformado por una secuencia de derrames de andesita y riolita; las andesitas son de color gris oscuro, intemperizando a gris verdoso, sumamente compactas y pseudo estatigráficas en bancos cuya potencia varía entre 0,40 y 1,50 m presentando muy poca fracturación; las riolitas se presentan macizas y en bancos gruesos y de colores, pardo rojizas, alterándose a colores violáceos. Se han observado intercalaciones sedimentarias, sin embargo; es posible que ellas existan pero sumamente silicificadas. Como consecuencia de esta litología, los afloramientos de esta unidad presentan un relieve bastante abrupto, debido a su poca susceptibilidad a los agentes del intemperismo. Es el basamento rocoso impermeable y delimita el acuífero lateralmente y en profundidad.

##### **Volcánico Calipuy (Ki-vca)**

Constituido en su parte inferior por derrames riolíticos, riocácicos muy alterados, de colores gris y rojizo, textura porfírica, es pequeño afloramiento de rocas volcánicas ubicado en la esquina noreste del área.

### Depósitos Aluviales (Q –al)

Los depósitos aluviales son predominantes en la parte baja del valle, el río Moche; el cual ha transportado y luego depositado sedimentos constituido por arcillas, arenas, gravas, guijarros y cantos de diversos tamaños.

Norte del área estudiada y que corresponde al lecho del río Seco, son más gruesos que los materiales que conforman el lecho del río Moche, esto se debe a que en el primer caso; el transporte que ha sufrido los sedimentos es más corto que el referido al río Moche; sin embargo, debido a la diferencia de áreas recolectores de agua; los sectores que se encuentran adyacentes al río Moche, son considerados más importantes para la explotación de aguas subterráneas.

### Depósitos de Eólicos (Q-e)

Se encuentran cubriendo las laderas de los afloramientos rocosos, y por ello; su incidencia en la hidrogeología del sector estudiado es reducido y carece de importancia. Está constituido por arenas muy finas entremezcladas con partículas finas (tamaño de la arcilla o limo) y cubren amplios sectores de las pampas como Salaverry, Moche, Víctor Larco y Trujillo. Ver Mapa N° 08.

### Depósitos marinos (Q - m)

Se les ubica a lo largo de la línea costera. El material consiste en depósitos cuaternarios de arena y cantos de naturaleza polimíctica.

Tienen una buena permeabilidad, pero no tienen mayor incidencia en la hidrogeología del área estudiada debido a su carácter marginal y sobre todo por constituir una faja muy angosta.

### Rocas intrusivas (Kti-gr, Kti-gd, Kti-di)

Pertencen al cretáceo superior - terciario inferior, vienen a ser las más recientes y están intruyendo a las rocas más antiguas descritas anteriormente. Sus afloramientos, que son parte del batolito andino se encuentran ampliamente distribuidos por toda el área de estudio. Las rocas intrusivas cartografiadas en el área son: Granitos, granodioritas, dioritas.

Cuadro N° 10  
Resumen de características geológicas del acuífero Moche

TIEMPO - ESTRATIGRAFÍA				TIPO DE ACUÍFERO	CARÁCTER HIDROGEOLÓGICO	COMPOSICIÓN LITOLÓGICA
ERATEMA	SISTEMA	SERIE	FORMACIÓN			
Mezozoico	Jurásico	Superior	Fm Chicama		Basamento Impermeable	Andecita y riolitas, lulitas, areniscas ortuarcitas, limolitas, Calizas
Mezozoico	Cretáceo	Inferior	Grupo Casma		Basamento Impermeable	Andesitas, riolitas
Mezozoico	Cretáceo	Inferior	Volcánico Calipuy		Basamento Impermeable	Derrames riolíticos, riódacíticos
Cenozoico	Cuaternario	Pleistoceno-Reciente	Depósitos Aluviales	Libre	Acuif. Aprovechable	Arcillas, arenas, gravas, guijarros y cantos
Cenozoico	Cuaternario	Reciente	Depósitos Eólicos		Mat. De Cobertura	Arenas
Cenozoico	Cuaternario	Reciente	Depósitos Marinos		Mat. De Cobertura	Arenas y cantos
Mezozoico	Cretasio Terciario	Inferior	Rocas Intrusivas		Basamento Impermeable	Granitos, granodioritas, dioritas

**Mapa 08**

## b) Hidrogeología

El acuífero se divide en dos partes: la primera comprende desde el sector denominado Galindo y Cerro Orejas aguas abajo hacia el litoral y la segunda, desde los lugares antes nombrados (Galindo-cerro Orejas), hacia aguas arriba, ésta última tiene una forma alargada; mientras que la primera de los nombrados tiene una forma cónica, (cono deyectivo del río Moche) el cual se va ensanchando progresivamente en sección transversal desde el sector Galindo hasta llegar al litoral.

El acuífero está limitado lateralmente por las masas rocosas (cerros), que afloran observándose además, grandes cerros testigos como: Alto Salaverry, Santo Domingo, La Compañía, La Compartición, los cuales pertenecen al grupo Casma y se encuentran dispersos en el valle. El límite inferior lo constituye el basamento tanto arcilloso como rocoso ambos impermeables, mientras que el límite superior está representado por la superficie freática.

El acuífero del valle Moche presenta una forma triangular, que se va ensanchando progresivamente en sección transversal, así vemos que entre Galindo y Cerro Orejas tiene un ancho de 1,900 m pasando, mientras que entre los sectores El Piñal, Laredo, El Arenal, San Juan llega a 10,000 m.de ancho; mientras que cerca del litoral, donde el valle presenta un ancho de 28,000 m.

El acuífero está constituido principalmente por sedimentos aluviales y eólicos del cuaternario reciente. Litológicamente están conformados por bloques, cantos, gujarros, gravas, arenas, arcillas y limos entremezclados en diferentes proporciones formando horizontes de espesores variables, los mismos que se presentan en forma alternada en sentido vertical.

Los sedimentos aluviales tienen amplia distribución en la parte baja del valle, desde la localidad de Menocucho, Jesús María, Las Cocas, Quirihuac y Cerro Blanco (forman un estrecho), a partir de allí aguas abajo, el valle se ensancha bruscamente hasta el mar. La ejecución y posterior análisis de los 458 Sondeos (SEV y TDEM) a determinado que las resistividades del horizonte superior que se encuentra saturado en la zona I varían mayormente de 22 a 90 ohm-m con espesores de 12 a 80 m, en la zona II fluctúa de 25 a 90 ohm-m con espesores de 12 a 59 m y finalmente en la zona III se encuentran valores que varían de 25 a 85 ohm-m con espesores de 12 a 54 m. Debe indicarse que este horizonte actualmente se encuentra en explotación.

La morfología de la napa es relativamente uniforme, observándose que el desplazamiento del flujo subterráneo en mayormente de noreste a suroeste (mayoritario) y en forma secundaria de sureste a noroeste (zonas I, II y III). Asimismo presenta una gradiente hidráulica que varía de 0,34 % a 2,37 % llegando incluso a 3.09 %.

En el área de estudio se han ejecutado dieciocho (18) pruebas de bombeo, cuyo resultado (parámetros hidráulicos) permite indicar que el acuífero es libre y presenta aceptables condiciones hidráulicas. El radio de influencia en el área investigada para bombeos de 6 a 24 horas/día, varía entre 33,00 y 333,00 m llegando incluso hasta 671,00 m valores que indican que mayormente el acuífero no tiene problemas de interferencia de pozos.

### 4.1.8 CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA E HIDROGEOLÓGICA DEL ACUÍFERO NEPEÑA

#### a) Geología

Las formaciones geológicas que comprende el área de estudio son las siguientes:

##### Grupo Goyllarisquizga

Los sedimentos clásticos y calcáreos se ubican al oriente y aquellas que se localizan al **este** del alineamiento definido por la ex hacienda San Jacinto, Buena Vista (Casma) y su prolongación hacia el **sur**, corresponden mayormente al Grupo Goyllarisquizga.

### **Formación Santa – (Ki-sa)**

Es una secuencia de calizas oscuras con intercalaciones de lutitas grises que sobreyacen a areniscas cuarzosas de la formación Chimú en el valle del río Santa.

El afloramiento más notorio se ubica en el río Loco, en dicho lugar; la unidad tiene orientaciones noreste a suroeste y de norte a sur.

### **Formación Carhuaz – (Ki-ca)**

Esta formación es una secuencia de lutitas (limoarcillitas) de estratificación delgada que se encuentran intercaladas con algunas areniscas grises a verdes.

En el sector Maquina Nueva continuando hacia el este del sector San Pablo, se observa clastos redondeados a subredondeados que ha dejado la inundación del fenómeno El Niño (1998), al fondo se aprecian los afloramientos rocosos.

La formación Carhuaz aflora conjuntamente con la formación Santa en el río Loco, lugar donde se encuentra mejor expuesta; observándose que las estructuras que caracterizan a esta unidad siguen una dirección noroestesureste. Se le considera como basamento rocoso impermeable.

### **Grupo Casma**

Las formaciones Junco y La Zorra constituyen el grupo Casma; los que representan en su conjunto; al basamento rocoso impermeable.

### **Formación Junco – (Ki-j)**

Afloramientos de esta formación se ubican entre los cerros Porvenir y Virahuanca (al noreste del cruce de Tortugas) hasta el cerro Chorreadero y también se muestran en el cerro Colorado (noreste de Samanco). Litológicamente esta formación tiene un color gris oscuro a verdoso, aspecto macizo que genera geoformas de relieve moderado a abrupto. Su estratificación y estructura no es muy evidente aunque si es más nítida en las secuencias esquistosas y cuando se encuentran como almohadillas. La formación Junco sobreyace a las formaciones del grupo Goyllarisquizga, y por otro lado infrayace a la formación La Zorra.

### **Formación La Zorra –(Ki-z)**

Sobreyace concordantemente a la formación Junco y está conformada por flujos de andesitas en capas delgadas y piroclastos de mayor dimensión intercalados con sedimentitas. Esta unidad se encuentra en la parte occidental del Batolito de la Costa y se ubica en la parte sur de Culebras. En el área de estudio esta formación aflora en forma limitada en los cerros de la Cruz (Samanco) y Pimpón (San Jacinto).

### **Depósitos Aluviales (Q –al)**

Esta unidad hidrogeológica resulta la más extensa del área de estudio y a su vez, la más importante.

Son áreas planas ubicados en ambos márgenes de los ríos Nepeña y Loco. éstos depósitos se encuentran desordenados en forma horizontal y vertical. Debe indicarse que los depósitos de ésta unidad se caracterizan por presentar arenas y cantos, los mismos que han sufrido un proceso abrasivo, que se traduce en un redondeamiento de sus elementos, primando dentro de ellos, determinados rangos de tamaño, el cual está en función de la intensidad de la corriente que los transporta y luego deposita. Ver Mapa N° 09

### **Depósitos Coluviales (Q - col)**

Esta unidad se observa al pie de las estribaciones montañosas de los cerros Caylán, Piedra Liza, Boca de Sapo, San Cristóbal, Pimpón, Motocachy y San Juan, se acumulan principalmente en la base de las laderas y en la parte inferior de los taludes, amontonamientos de derrumbes y muros deslizantes.

Mapa N9

La composición litológica de estos depósitos está conformada por clastos angulosos y sedimentos arcillosos, así como también; por limos y arenas muy finas. En general son productos del intemperismo y derrumbamiento de las rocas que afloran en la cabecera de estos depósitos.

#### Depósitos Eólicos (Q-e)

Son acumulaciones eólicas recientes, están constituidas por arenas de diferente tamaño cuyos componentes mineralógicos principalmente son cuarzo, feldespato y mica. Los aportes sedimentarios de esta unidad están constituidos mayormente por arenas migrantes, que fueron transportados por el viento desde la ribera marina, con dirección predominantemente suroeste a noreste, por lo que su forma, tamaño y posición son muy cambiantes.

Se encuentran cubriendo las acumulaciones preexistentes y las formaciones rocosas que afloran en el área.

La llanura eólica se ubica en forma continua en las pampas de El Cementerio, Veta Colorada y Veta Negra del valle de Nepeña. Estas acumulaciones mayormente tienen compactación débil, aunque en algunos sectores donde hay presencia de arcilla, limos y calcáreos; se puede notar una adherencia moderada.

#### Depósitos Marinos (Q-ma)

Se ubican en el borde litoral y se componen de arenas finas sueltas y de poca compacidad.

### ROCAS INTRUSIVAS

#### Rocas Intrusivas (Ki-t, Ki-di, Ki-gd, Ki-mg).

Las rocas intrusivas correspondientes al cretáceo inferior

Cuadro N° 11  
Resumen de características geológicas del acuífero Nepeña

TIEMPO - ESTRATIGRAFÍA				TIPO DE ACUÍFERO	CARÁCTER HIDROGEOLOGICO	COMPOSICIÓN LITOLÓGICA
ERATEMA	SISTEMA	SERIE	FORMACIÓN			
Mezozoico	Cretáceo	Inferior	Grupo Goyllarisquizga		Basamento Impermeable	Calizas, Lutitas, Tobas y Derrames
Mezozoico	Cretáceo	Inferior	Santa		Basamento Impermeable	Calizas, Lutitas, Tobas y Derrames
Mezozoico	Cretáceo	Inferior	Carhuaz		Basamento Impermeable	Lutitas, intercaladas con areniscas
Mezozoico	Cretáceo	Inferior	Grupo Casma		Basamento Impermeable	Esquistos y andesitas (Junco y la zorra)
Mezozoico	Cretáceo	Inferior	Junco		Basamento Impermeable	Esquistos
Mezozoico	Cretáceo	Inferior	La Zorra		Basamento Impermeable	Andecitas, piroclastos
Cenozoico	Cuaternario	Pleistoceno - Reciente	Depósitos Aluviales	Libre	Acuíf. Aprovechable	Arenas y cantos rodados
Cenozoico	Cuaternario	Reciente	Depósitos Coluviales		Mat de cobertura	Arenas, guijarros y fragmentos
Cenozoico	Cuaternario	Reciente	Depósitos Eólicos		Mat. De Cobertura	Arenas
Cenozoico	Cuaternario	Reciente	Depósitos marinos		Mat. De Cobertura	Arenas sueltas
Mezozoico	Cretáceo	Inferior	Intrusivas		Basamento Impermeable	Granito, tonalitas, dioritas, granodioritas, monzogranitos

## b) Hidrogeología

El acuífero del valle de Nepeña tiene forma alargada, la misma que se encuentra encajonada por rocas compactas que afloran formando los cerros que flanquean el valle. En el distrito de Moro sigue una dirección noreste a suroeste, hasta el sector de Tomeque, donde se cierra y hace un cuello delgado; lugar donde tiene 2,5 Km de largo por 2,00 km de ancho aproximadamente, asimismo producto de los cerros Quisque Bajo y Motocachy, en este tramo sigue una dirección este a oeste. Desde el sector de Maquina Vieja hasta San Jacinto tiene dirección sureste a oeste y se encuentra rodeado por los cerros Monte Parra, Pimpón y San Cristobal presentando una longitud de 5 km y 2,5 km de ancho aproximadamente.

De este último punto (San Jacinto), el valle se ensancha teniendo una longitud de 10 km y un ancho de 7 km, este amplio sector comprende los anexos de San José, Cerro Blanco, al pueblo de Nepeña y termina en el anexo de Capellanía y sigue una dirección noreste a suroeste. Desde Capellanía hasta el Anexo La Capilla tiene forma de garganta de 10,5 km de longitud y 2,8 km de ancho con dirección noreste a suroeste. Del anexo La Capilla hasta su desembocadura en el mar recorre dos direcciones, una que tiene dirección este - oeste y va hacia Samanco y Playa Mar Brava y la otra, que sigue una dirección norte a sur y que va por el Sector Los Patillos hacia la playa Los Chimus.

El espesor del acuífero es variable debido a las irregularidades que presenta el basamento, el cual aflora en los cerros; Blanco, Castillo, El Mirador, Panteón, de la Cruz, Los Chimus y otros, los que influyen en el escurrimiento de las aguas subterráneas.

El acuífero está constituido principalmente por materiales aluviales cuaternarios. Litológicamente está compuesto por cantos rodados, guijarros, gravas, arenas y arcillas, mezclados en diferentes proporciones, presentándose en capas u horizontes en forma alternada en sentido vertical.

De manera general, el valle muestra características de desarrollo joven desde sus nacientes hasta aproximadamente los alrededores de Moro.

Se nota principalmente en esta etapa juvenil, que el perfil del valle tiene forma de “V”, haciéndose muy profundo en algunos casos tal como ocurre cerca al pueblo de Jimbe, asimismo, las divisorias de aguas se muestran pobremente definidas. Aguas abajo; desde el poblado de Moro se nota un mayor desarrollo de la llanura aluvial, asimismo se nota que la topografía está integrada por laderas de cerros y cortados por valles.

La napa freática del valle de Nepeña es libre y superficial; ésta se forma con las filtraciones de las aguas de los ríos Colcap, Pocos y Nepeña y es incrementada por las avenidas temporales que se producen a través de las quebradas de Larea, Vinchamarca y Anta; y también por las filtraciones que se producen a través de los canales de riego y del sobreriego en la zona de cultivo.

La morfología de la napa es relativamente uniforme, siendo el desplazamiento del flujo subterráneo mayormente de noreste a suroeste. La profundidad de la napa freática en todo el valle fluctúa entre 1,00 m y 11,00 m.

En el área de estudio se han efectuado veintiún (21) pruebas de bombeo. Los parámetros hidráulicos obtenidos en las pruebas de bombeo en todo el valle (21), indican que el acuífero presenta aceptables condiciones hidráulicas.

Los radios de influencia en el valle (8 – 24 horas) varían de 73,40 – 337,13 m a 127,14 – 583,93 m; deduciendo que en ciertos sectores podría haber interferencia de pozos.

#### 4.1.9 CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA E HIDROGEOLÓGICA DEL ACUÍFERO CHANCAY-HUARAL

##### a) Geología

Las formaciones geológicas que comprende el área de estudio son las siguientes:

##### **Grupo Casma (Ktm - c)**

Este grupo del Cretáceo Medio aflora ampliamente en el área y ha sido dividida en dos unidades litoestratigráficas:

##### **Volcánico Quilmaná (Kms-q)**

En la parte superior. Este grupo se encuentra suprayaciendo a la formación Atocongo. El grupo Casma aflora al noroeste del valle en los cerros: La Calera, La Mina, así como también hacia el sur donde aflora en los cerros: Pasamayo, Macatón, Salinas, Lunavilca y hacia el oeste en los cerros Redondo, Atalayo y La Chinchera. El grupo Casma está dividido en dos (02) unidades litoestratigráficas, uno es la formación Huarangal, que es una secuencia volcánicas sedimentaria de lutitas, grauwacas y calizas finamente estratificadas y la otra, es la formación Quilmaná, que está constituida por piroclásticos y derrames andesíticos masivos, con niveles de lavas de estructura amigdaloides y almohadillada con intercalación esporádica de arenisca volcánica.

Estas rocas se encuentran medianamente fracturadas en superficie disminuyendo el fracturamiento en profundidad. Genéticamente presentan permeabilidad muy baja y constituyen el substrato impermeable del acuífero.

##### **Volcánico Huarangal (Kim-h)**

Es una secuencia volcánico-sedimentaria en la parte inferior y otra netamente volcánica.

##### **Volcánico Calipuy (Kti-vca)**

Reposa en discordancia sobre la formación Casapalca y demás unidades plegadas del Cretáceo. Está constituido por lavas andesitas y piroclásticas; y debido a la falta de fósiles en esta formación, no ha sido posible atribuirle una edad precisa; pero tomando en cuenta y considerando la formación precedente, no parece posible que en esta zona el Calipuy puede haber sido depositado antes del inicio del terciario. La ubicación de este tipo de rocas se ubican en el área de estudio al lado Este del distrito de Aucallama en el cerro Pumahuaca y parte alta de Quilca.

##### **Formación Atocongo (Ki - at)**

En el área de estudio esta formación aflora en el sector denominado Punta Chancay en los cerros Pasamayo (parte baja) y se encuentra suprayaciendo a la Formación Huarangal del grupo Casma. Está conformada en la parte inferior por calizas bituminosas intercalados con lutitas y margas grises oscuras, calizas chérticas. En la parte superior se observan calizas finamente estratificadas formando paquetes masivos intercalados con derrames andesíticos. Genéticamente, estas rocas constituyen el basamento impermeable.

##### **Formación Pamplona (Ki - pa)**

Formación de edad Cretácica inferior-medio, la cual aflora en el sector denominado Punta Chancay. Litológicamente es una secuencia arcilla-calcárea, constituida por lutitas y margas en capas delgadas, calizas bituminosas intercaladas con areniscas volcánicas. Hacia la parte superior se observa calizas carbonosas, tobas blanquecinas, derrames andesíticos y piroclásticos andesíticos. Estratigráficamente infrayace a la formación Atocongo. Esta formación constituye el basamento impermeable del acuífero Chancay - Huaral.

##### **Depósitos Aluviales (Q - al)**

Esta unidad resulta una de las más extensas del área de estudio, y a su vez la más importante para los fines del presente estudio. Son terrenos llanos ubicados en ambos márgenes del río Chancay, los cuales pertenecen a la planicie del cono de deyección del río antes nombrado. Está constituido por arcillas, arenas, gravas, guijarros,

cantos (de diverso tamaño y litología) y bloques. Hidrogeológicamente, estos depósitos son los más importantes para la prospección y explotación de las aguas subterráneas. Ver mapa N° 10

#### **Depósitos Coluviales (Qp - c)**

Esta unidad incluye aquellas áreas que circundan a los afloramientos rocosos y por lo tanto han recibido y siguen recibiendo material desprendido de la parte alta, debido a la acción de los agentes del intemperismo. De toda una línea de escombros antiguos que convergen al bajar por las laderas de los cerros, y que por acción tanto de la gravedad y ocasionales corrientes hídras superficiales, se han fusionado más abajo en una pendiente ondulada. Litológicamente está constituido por clastos angulosos con sedimentos arcillosos, así como también, por limos y arenas muy finas provenientes del litoral que fueron transportados por acción eólica. Esta unidad posee aceptable permeabilidad y porosidad, sin embargo, la alimentación es reducida y por ende la explotación de las aguas subterráneas es casi nula.

#### **Depósitos Eólicos ( Q-e )**

Los depósitos eólicos se han formado a lo largo de la faja litoral y en áreas que circundan los cerros de composición ígnea-

#### **Rocas Intrusivas (Ktis-dd,gd,di,gb,t,a,g)**

Son cuerpos subvolcánicos de intrusiones tempranas y cuerpos plutónicos que constituyen el batolito de la costa. Las unidades litológicas que forman el Batolito (complejo de diferentes rocas intrusivas) constituyen sistemas sucesivas de tonalitas y dioritas, constituyen uno de los conjuntos de rocas que alcanzan mayor desarrollo en la zona y se encuentran localizadas a lo largo de la vertiente occidental de los Andes.

Aflorando en forma de una franja de 30 km de ancho aproximadamente y formando parte del batolito de la Costa que aflora desde la localidad de Trujillo, en forma interrumpida, hasta cercanías de la quebrada de Pescadores, existe numerosos stock, sills y otras pequeñas intrusiones más modernas de composición ácida, que se encuentran enclavadas en la masa del batolito o relacionado a éstas, particularmente en los casos de mineralización, como sucede en la parte alta o andina (Chungar y Santander).

En el valle, las rocas ígneas de composición básica intermedia, como las dioritas, afloran en las partes bajas del valle, y en la faldas de los cerros ubicados alrededor del valle, ya que las rocas ígneas de composición intermedia más ácida afloran en la zona pre-andina (especialmente en los cursos medio y superior de la Qda. Orcón). Estas rocas conforman el basamento impermeable.

Estos depósitos adoptan una serie de formas características como dunas, óndulas, crestas, lomos de ballena y otras. Las dunas están constituidas por arenas muy finas con cierto contenido de limos, sobre las cuales la acción del viento a formado dunas de 2,00 a 3,00 m de altura.

#### **Mantos de Arena por Aspersión Eólica (Qp-e)**

Se encuentra emplazada bordeando a los afloramientos rocosos de los cerros que circundan el valle de Chancay, como Macatón y otros, debido a ello no se descarta la posibilidad de que subyaciendo a éstos, se encuentran depósitos coluviales provenientes de los cerros.

Está constituido por arenas muy finas entremezcladas con partículas mucho más finas aún (del tamaño de la arcilla o limo), material que ha sido transportado por el viento.

#### **Depósito Marino Reciente (Q-m)**

Estos depósitos continúan formándose en la actualidad y se encuentran a lo largo de la línea costera, tal como se muestra Es interesante señalar que en la playa de la localidad de Chancayllo, la acción de las olas y las corrientes marginales se encuentran formando una barra o cordón litoral de arenas. Para el caso de las playas o costas emergentes, como es el caso considerado para esta región, dicha forma tenderá a seguir y formar la tierra firme y la línea de costa futura.

mapa 10

Cuadro N° 12  
Resumen de características geológicas del acuífero Chancay Huaral

TIEMPO - ESTRATIGRAFÍA				TIPO DE ACUÍFERO	CARÁCTER HIDROGEOLÓGICO	COMPOSICIÓN LITOLÓGICA
ERATEMA	SISTEMA	SERIE	FORMACIÓN			
Mezozoico	Cretasio terciario	Medio	Grupo Casma		Basamento Impermeable	grawacas, calizas, piroclásticos, andesíticos (Quilmaná y Huarangal)
Mezozoico	Cretáceo	Medio Superior	Volcánico Quilmana		Basamento Impermeable	Piroclastos y derrames andesíticos
Mezozoico	Cretáceo	Inferior	Volcánico Huarangal		Basamento Impermeable	Lutitas, grawacas y calizas
Mezozoico	Terciario	Inferior	Volcánico Calipuy		Basamento Impermeable	Andesitas, piroclásticas
Mezozoico	Cretáceo	Inferior	Atocongo		Basamento Impermeable	Calizas, lutitas margas
Mezozoico	Cretáceo	Inferior	Formación Pamplona		Basamento Impermeable	arcilla, margas, calizas areniscas volcanicas, piroclásticos, andesíticos
Cenozoico	Cuaternario	Pleistoceno-Reciente	Depósitos Aluviales	Libre	Acuíf. Aprovechable	Arenas, gravas, guijarros, cantos, bloques
Paleozoico	Cuaternario	Reciente	Depósitos Coluviales		Mat de cobertura	Arenas guijarros fragmentos medianos y grandes
Paleozoico	Cuaternario	Reciente	Depósitos Eólicos		Mat. De Cobertura	
Prec. Mesozoico			Rocas Intrusiva		Basamento Impermeable	Tonalitas, dioritas, gabro hasta el granito

## b) Hidrogeología

El acuífero puede dividirse en dos partes; la primera comprende desde Huayán-Pisquillo hacia aguas abajo hasta el litoral y la segunda, desde los lugares antes nombrados (Huayán-Pisquillo), hacia aguas arriba, esta última tiene una forma alargada; mientras que la primera de las nombradas es de forma cónica (cono deyectivo del río Chancay), el cual se va ensanchando progresivamente en sección transversal desde Huayán-Pisquillo hasta su límite con el litoral.

El acuífero está limitado lateralmente por masas rocosas (cerros) que afloran en ambos lados y también; por grandes cerros testigos como Macatón, Salinas, La Mina, La Calera, Lunavilca, María Paz y otros de menor tamaño; los cuales pertenecen al grupo Casma (formaciones: Pamplona y Atocongo) y al Batolito Costanero.

El límite inferior lo constituye el basamento rocoso impermeable que está constituido por las rocas arriba nombradas y el límite superior representado por la superficie freática. La prospección geofísica ha determinado que el techo del basamento rocoso está ubicado entre los 50,00 m y 269,00 m de profundidad.

El valle Chancay-Huaral (cono deyectivo), se va ensanchando progresivamente en sección transversal, así vemos que en la zona de Huayán-Pisquillo, tiene un ancho de 2,6 m, pasando por la zona de Granados, Esperanza Baja, La Victoria, Huaral y Pozo Azul donde alcanza a tener 13000 m de ancho, hasta llegar cerca al litoral, donde el valle presenta un ancho de 21000 m.

En los sectores ubicados al noroeste de Huaral, como Santa Fé, Monteros, California, Margaret y Contadera, el basamento se encuentra entre 50 m y 80 m de profundidad, mientras que en el sector de Huayán-Pisquillo el basamento está ubicado entre 50 m y 79 m de profundidad.

El reservorio acuífero tiene dos horizontes bien definidos, siendo el primero de alta permeabilidad y está conformado por depósitos aluviales y en menor proporción por coluviales, marinos recientes y mantos de arena, siendo el más importante el primero de los nombrados (aluvial), el cual litológicamente está constituido por cantos, gravas, guijarros, arenas, arcillas y limos entremezclados en diferentes proporciones formando horizontes de espesores variables, los mismos que se presentan en forma alternada en sentido vertical.

El acuífero está limitado lateralmente por masas rocosas que afloran a ambos lados y también por cerros testigos (grupo Casma y formaciones Pamplona y Atocongo y el Batolito de la Costa). El límite inferior está constituido por el basamento rocoso antes descrito y el límite superior por la superficie freática.

La prospección geofísica ha determinado que el basamento rocoso se encuentra a profundidades que fluctúan entre 50,00 m y 269,00 m.

En el área investigada, la napa freática contenida en el acuífero es libre y superficial, siendo su fuente de alimentación, las aguas que se infiltran en las partes altas de la cuenca (zona húmeda), así como también las que se infiltran a través del lecho del río, en los canales sin revestir y, en las áreas de cultivo que se encuentran bajo riego.

La morfología de la napa es relativamente uniforme, en la cual el desplazamiento del flujo subterráneo es principalmente de noreste a suroeste (zonas II, III y IV) y en forma secundaria de sureste a noroeste (zona I) y de este a oeste (Zona III). La gradiente hidráulica mayormente fluctúa entre 0,95% y 2,12%, aunque en cierto sectores de la zona I llega a 4,47%. Las características de la napa se muestran en el cuadro adjunto

La profundidad de los niveles de agua en el valle Chancay-Huaral fluctúa entre 0,30 m. y 35,30 m. . Así en Aucallama, en la Qda. Orcón varía entre 19,00 m y 29,80 m de profundidad, en Palpa y Caqui fluctúa entre 0,80 m y 17,40 m. y en Miraflores, Boza y Pasamayo varía entre 0,30 m. y 21,95 m de profundidad. En Huaral la napa se encuentra entre 0,70 m y 35,30 m observándose las profundidades menores en Esperanza Baja. En Chancay, los niveles se ubican entre 0,40 m y 32,41 m de profundidad

En el área de estudio (2001) se han realizado ocho (08) pruebas de bombeo, una (01) en la zona IV, cinco (05) en la zona III y dos (02) en las zonas I y II. Los parámetros hidráulicos obtenidos de las pruebas de bombeo, permite indicar que el acuífero presenta aceptables condiciones hidráulicas. Los radios de influencia en el área investigada para bombeos de 6 a 24 horas/día fluctúan entre 95 y 461 m respectivamente, valores que han determinado que mayormente no existen problemas de interferencia de pozos.

#### 4.1.10 CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA E HIDROGEOLÓGICA DEL ACUIFERO CAÑETE

##### a) Geología

La geología de la zona está compuesta por las siguientes unidades litológicas:

##### **Grupo Quilmaná (Kis-q)**

Este grupo aflora en las estribaciones andinas próximas a las pampas costaneras, entre Quilmaná y Chíncha y, entre Chilca y Mala respectivamente, está intruida por el batolito.

Gruesa secuencia volcánica sedimentaria, con predominio de rocas volcánicas hacia la parte superior que yacen en aparente concordancia sobre el grupo imperial. y alternancia de lutitas, calizas y margas; también se intercalan horizontes delgados de limolitas y areniscas de color gris pardo, que tienen en su base derrames volcánicos submarinos que hacia el tope se intercalan con lechos volcánicos delgados.

##### **Grupo Morro Solar (Ki-ms)**

Está expuesta parcialmente en las lomas de Quilmaná, playa Cerro Colorado en pequeños afloramientos hasta cerca a Cerro Azul.

Es una secuencia de calizas grises y areniscas calcáreas, cuarcitas, lutitas y areniscas, afectada por diques andesíticos y graníticos se distingue en el campo por su color blanco grisáceo y pardo claro.

### Grupo Imperial (Ki-i)

Pequeños afloramientos de rocas cretácicas no diferenciadas.

### Formación Pócoto (Ts-p)

Sedimentos continentales y tobas que se encuentran en los cerros al **norte** y **este** de la localidad de Quilmaná, aflorando mayormente en la parte alta de los flancos del valle de Pócoto, de donde toma su nombre.

Esta formación está constituida por areniscas de grano grueso, aglomerados volcánicos y tobas riolíticas y riolíticas. Es del Mioceno correlacionable con la formación Pisco.

### Formación Cañete (Qp-c)

Aflora en el Cerro Candela, lomas cerca de la hacienda Montejato, pampas Clarita y Cinco Cruces al sureste de San Vicente de Cañete. en los acantilados del borde litoral al **norte** de Jahuay, se observa una alternancia de conglomerados y sedimentos arenosos y limosos.

Conjunto litológico de conglomerados semiconsolidados de clastos redondeados y subredondeados con intercalaciones arena – limosos, yacen en discordancia angular sobre la formación Paracas y rocas más antiguas. Representa los conos de deyección aluvionales más antiguos; son de edad Pleistocénica. Por la constitución es potencialmente aparente como acuífero aprovechable.

### Depósitos Aluviales (Q –al)

Acumulaciones de clásticos, constituidas por gravas, arenas, limo-arcilloso y cantos; depositados bajo condiciones muy variables en cuanto a volumen y velocidad de flujo. Estos depósitos constituyen el área agrícola del valle Cañete. Ver Mapa N° 11

Están ampliamente distribuidos en la llanura comprendida entre Herbay Bajo y las Pampas de Quilmaná, y están conformados por depósitos del río Cañete y la quebrada Conta, sobre la que se ha desarrollado 2 terrazas.

### Depósitos Eólicos (Q – e)

Los depósitos eólicos se han formado a lo largo de la faja litoral y en áreas que circundan los Cerros de composición ígnea intrusiva (dirección sureste) se aprecia cuando se cruza la carretera Panamericana Sur. Estos depósitos adoptan formas de dunas onduladas, crestas, lomas de ballena y otros.

### Depósitos Marinos Recientes (Q – m)

Se ubican en el borde litoral, en terrazas que alcanzan hasta tres metros sobre el nivel medio del mar, específicamente en los sectores Boca del Río, Playa Hermosa y Santa Cruz.

Están cubiertas tierra adentro por depósitos aluviales o están relacionadas a escarpas litorales emergidas.

Mapa 11

Cuadro N° 13  
Resumen de características geológicas del acuífero Cañete

TIEMPO ESTRATIGRAFÍA				TIPO DE ACUÍFERO	CARÁCTER HIDROGEOLÓGICO	COMPOSICIÓN LITOLÓGICA
ERATEMA	SISTEMA	SERIE	FORMACIÓN			
Mesozoico	Cretáceo	Inferior a superior	Grupo Quilmana	-	Basamento Impermeable	Lutitas , calizas, margas
Mesozoico	Cretáceo	Inferior	Grupo Morro Solar	-	Basamento Impermeable	Calizas grises y areniscas calcáreas, cuarcitas lutitas, andesíticos
Mesozoico	Cretáceo	Inferior	Grupo Imperial	-	Basamento Impermeable	Areniscas
Cenozoico	Terciario	Superior	Formación Pócoto	-	Basamento Impermeable	Areniscas, aglomerados volcánicos, tobas riolíticas riódacíticas
Cenozoico	Cuaternario	Pleistoceno	Formación Cañete	-	Basamento Impermeable	Conglomerados, sedimentos arenosos y limosos
Cenozoico	Cuaternario	Pleistoceno-Reciente	Depósitos Aluviales	Libre	Acuíf. Aprovechable	Arenas limos arcillosos
Cenozoico	Cuaternario	Reciente	Depósitos Eólicos	-	Mat. De Cobertura	Arenas
Cenozoico	Cuaternario	Reciente	Depósitos Marinos recientes	-	Mat. De Cobertura	Terrazas de hasta 2 metros - arenas

## b) Hidrogeología

El acuífero está delimitado en su flanco derecho por afloramientos rocosos con cobertura eólica y en su flanco izquierdo por afloramientos rocosos y depósitos aluviales, siendo la extensión transversal de la primera parte menor que la segunda. El tramo de la llanura comprendido entre los sectores Boca del río, Cochahuasi, Playa Hermosa y Caja Lobos ha sido formado por depósitos aluviales y marinos, lo que se hace evidente por la cercanía al mar.

El acuífero en la zona del valle del río Cañete, se encuentra limitado por afloramientos rocosos como los Cerros Loma Negra, Lúcumo, Conta, Pócoto, Huayaullo, Bandurria, Lomas de Quilmaná y El Ihuanco. En su flanco derecho delimitado por afloramientos rocosos con cobertura eólica y en su flanco izquierdo por afloramientos rocosos y depósitos aluviales, siendo la extensión transversal de la primera parte menor que la segunda. El tramo de la llanura comprendido entre los sectores Boca del río, Cochahuasi, Playa Hermosa y Caja Lobos ha sido formado por depósitos aluviales y marinos, lo que se hace evidente por la cercanía al mar

El acuífero presenta dimensiones variables, así tenemos que entre el sector Pampas de Quilmaná y la Huerta tiene un ancho que fluctúa entre 7 000 m y 9 000 m; mientras que entre los sectores Miraflores, Cantagallo y el centro poblado Nuevo Roma; en el límite del Cerro Pócoto, presenta un ancho que varía entre 10 000 m y 12 000 m, a partir de estos sectores; la dimensión del acuífero es mayor a los descritos anteriormente y fluctúa entre 14 000 m y 16 000 m.

El reservorio acuífero está constituido principalmente por rellenos aluviales del cuaternario y terciario siendo el más importante el primero de los nombrados (aluvial); el cual litológicamente está constituido por gravas, arena fina a gruesa redondeados a subredondeados; limos y arcillas, todo de carácter típicamente fluvial, hacia el sector sureste los sedimentos constituyen la formación Cañete del terciario.

La napa contenida en el acuífero es libre y superficial, siendo su fuente de alimentación las aguas que se infiltran en la parte alta de la cuenca (zona húmeda), así como también; las que se infiltran a través del lecho del río, en los canales de riego no revestidos y, en las áreas de cultivo.

La profundidad del nivel estático en el área de estudio mayormente fluctúa entre 0,36 m y 43,10 m, aunque en el sector Pampas Rosario Alto (distrito de Quilmaná), se registran valores puntuales que fluctúan entre 57,59 m y 86,48 m. En base a las mediciones realizadas durante el inventario de pozos, se ha elaborado el plano de Isopropundidades de la Napa, cuyo análisis permitirá indicar la profundidad de los niveles del agua subterránea en el valle.

La morfología de la napa es relativamente uniforme, observándose que el desplazamiento del flujo subterráneo sigue dos trayectorias principales; la primera de noreste a suroeste (principalmente) y la segunda de este a oeste. Los valores de las pruebas de acuífero realizadas, han determinado que el acuífero es libre y presenta aceptables condiciones hidráulicas. El radio de influencia para bombeos de 8 a 24 horas varía entre 98,00 m y 554,00 m respectivamente, valores que han determinado que en casi todo el valle, no existen problemas de interferencia de pozos.

#### 4.1.11 CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA E HIDROGEOLÓGICA DEL ACUÍFERO PISCO

##### a) Geología

Las formaciones geológicas que comprende el área de estudio son las siguientes:

##### **Formación Chocolate (Ji-ch)**

localizado en la parte suroeste del área de estudio y en forma muy limitada: está conformada por rocas volcánicas de aspecto masivo principalmente andesíticas con ocurrencias riolíticas, observándose aunque en menor proporción dacitas y latitas. Apariencia de un intrusivo de naturaleza volcánica, su espesor supera los 2000 m. basamento impermeable rocoso.

##### **Grupo Quilmaná (Kis – q)**

es mayormente volcánica con escasas intercalaciones de forma lenticular principalmente de calizas con espesores hasta de 6,00 m. Aflora hacia el noreste en los cerros Guitarra, Cabeza de toro y Colorado.

##### **Formación Paracas (Ti-pa)**

Está conformado por sedimentos, los acantilados cerca al litoral. conglomerado hasta de 15 m. de espesor conformado por clastos en una matriz arenosa, suprayaciendo se presenta una secuencia de areniscas arcillosas, intercalada

##### **Formación Pisco (Ts-pi)**

Es una secuencia del mioceno del terciario marino. Litológicamente está conformado por diatomitas con intercalaciones de areniscas tobáceas y lutitas. aflora en el oeste, desde Alto Pisco pasando por los cerros Caucato, recubiertos por depósitos sueltos y por San Clemente y San Miguel hasta la pampa de Lanchas. Afloran al este y sureste del área, monzonita Humay y monzogabro Humay

##### **Depósitos Aluviales (Q-al)**

Son extensas áreas con regulares condiciones hidrogeológicas, se caracteriza por estar conformado por sedimentos gravosos, mezcladas con arena y arcilla. Se infiere que hubo dos etapas de sedimentación y posterior erosión de los sedimentos, que ha dado lugar a la formación de dos (02) niveles antiguos del valle; que son: 1. Cauce mayor o lecho actual del río y 2. Primera terraza. Ver mapa N° 12

##### **Depósitos Eluviales (Q – el)**

Constituida por clastos angulosos con sedimentos arcillosos, así como también; limos y arenas muy finas. Esta unidad tiene aceptable permeabilidad y porosidad; sin embargo la alimentación es reducida y por ende la explotación de las aguas subterráneas es casi nula.

##### **Depósitos Eólicos (Q-e)**

ocupan gran parte del área dunas que arenas (cuarzo, feldespato y mica). Espesores que varían de unos pocos metros a más de 50.00 m. Al sur de las haciendas Cuchilla Vieja, Murga y Bernales, algunos campos de dunas rodean a lagunas largas y angostas, también lo hacen a franjas de tierra cultivada que constituyen pequeños valles aislados y que son parte de la antigua terraza del río Pisco. Mantos de arena por acumulaciones de arcillas y arenas cubriendo las faldas de los cerros provienen de las pampas costaneras que son transportadas por los vientos. En Pisco se le denomina “Paracas”.

mapa 12

### Depósitos Marinos Recientes (Q-m)

Son depósitos ubicados a lo largo de la línea de costa compuestos por arenas y materiales gravosos.

### ROCAS INTRUSIVAS

#### Rocas Intrusivas(P-pgr, P-grp, P-gr, P-gd/to/a)

Afloran rocas intrusivas en los extremos noroeste y sureste del área investigada. Existen rocas muy antiguas (paleozoico inferior) que corresponde al Batolito San Nicolás y rocas intrusivas jóvenes al Batolito de la Costa.

Cuadro N° 14  
Resumen de características geológicas del acuífero Pisco

TIEMPO - ESTRATIGRAFÍA				TIPO DE ACUÍFERO	CARÁCTER HIDROGEOLOGICO	COMPOSICIÓN LITOLÓGICA
ERATEMA	SISTEMA	SERIE	FORMACIÓN			
Mesozoico	Jurásico	Inferior	Formación chocolate		Basamento Impermeable	Andesticas, riolíticas, dacitas y latitas
Mesozoico	Cretáceo	Inferior Superior	Grupo Quilmana		Basamento Impermeable	calizas
Cenozoico	Terciario	Inferior	Formación Paracas		Basamento Impermeable	Conglomerado, areniscas, lutitas, calizas
Cenozoico	Terciario	Superior	Formación Pisco		Basamento Impermeable	Didiatomitas, areniscas, tobaxeas lutitas
Cenozoico	Cuaternario	Pleistoceno-Reciente	Aluviales	Libre	Acuíf. Aprovechable	Cantos, gravas arenas
Cenozoico	Cuaternario	Reciente	Depósitos eluviales		Mat. de cobertura	Limos y arenas
Cenozoico	Cuaternario	Reciente	Depósitos eólicos		Mat. de Cobertura	Arenas
Cenozoico	Cuaternario	Reciente	Depósitos Marinos Recientes		Mat. de Cobertura	Arenas y gravas
Paleozoico	Ordoviciano-Siluriano		Rocas Intrusivas · Batolito San Nicolás · Batolito de la Costa		Basamento Impermeable	Granito Paraíso, Granitos, granodiorita, tonalita, adamelita Granitos, granodiaritas Monzonita, monzogabro

### b) Hidrogeología

El acuífero tiene forma de abanico y se encuentra delimitado por afloramientos rocosos representado por los cerros Guitarra, Media Luna, Cabeza de Toro, Lindero, La Palma, Cuchilla, Solar, Colorado, Sapo y Filudo.

El acuífero presenta diversas dimensiones, así en el sector Humay tiene un ancho promedio de 4 000 m el mismo que se va incrementando progresivamente hasta alcanzar una longitud de 10 000 m entre los sectores de Cuchilla Vieja y Cabeza de Toro. Entre los sectores San José y San Clemente; el valle se angosta hasta 5 000 m; mientras que entre éste último y el Océano Pacífico se ensancha hasta 15 000 m.

El acuífero está constituido principalmente por materiales aluviales del cuaternario reciente. Litológicamente está conformado por bloques, cantos, guijarros, gravas, arenas, arcillas y limos entremezclados en diferentes proporciones formando horizontes de espesores variables, los mismos que se presentan en forma alternada en sentido vertical

Las fuentes de alimentación de la napa provienen de las aguas que se infiltran de la parte alta (cuenca húmeda), en los canales de regadío, a través de las áreas de cultivo y, las aguas que discurren por el cauce o lecho del río.

La morfología de la napa es relativamente uniforme, cuyo flujo subterráneo presenta dos direcciones, una principal de sureste a noroeste y otra secundaria de noreste a suroeste, ambas presentes en las cuatro zonas que conforman el acuífero (zonas I, II, III y IV). Asimismo, la gradiente hidráulica en el valle varía de 1,26 % a 3,25 %

La profundidad de la napa freática en el valle fluctúa entre 0,15 m. (Pampas de Ocas) – 0,59 (San Luis) y 14,21 m. (La Floresta) – 17,25 m. (Santa Fé de Lanchas), llegando incluso a 25,82 m. (Cabeza de Toro).

Se han ejecutado 15 pruebas de bombeo (ver cuadro adjunto) cuyo resultado y análisis ha permitido deducir que el acuífero es libre y presenta de regulares a buenas condiciones hidráulicas.

#### 4.1.12 CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA E HIDROGEOLÓGICA DEL ACUÍFERO ICA

##### a) Geología

Las formaciones geológicas que comprende el área de estudio son las siguientes:

##### **Formación Guaneros (Js-g)**

Las rocas que constituyen esta formación son volcánicas, caracterizadas por su textura y coloración marrón rojiza a marrón violácea y particularmente gris verdosa. El aspecto general de los volcánicos es masivo.

En la secuencia, las calizas son escasas, mayormente son arenosas de tonalidad rojiza y de estratificación fina. En un horizonte situado en la parte media de esta sección, es más bien micrítica, bastante dura y de coloración azulada mientras que en la parte inferior se observa calizas marrones-arenosas.

##### **Grupo Yura (Ki-yu)**

Aflora en la parte superior del grupo Yura. Litológicamente está formado por areniscas cuarzosas de color amarillo rojizo, intercalada con lutitas, calizas y rocas volcánicas. Aflora en el cerro Prieto y en la parte sur del cerro Mataballo, ambos ubicados en la pampa de Villacurí. Al igual que la anterior formación, es parte del basamento litológico impermeable.

##### **Grupo Quilmaná (Kis-q)**

Litológicamente está constituido por volcánicos porfíricos de color gris verdoso y afaníticos de color gris oscuro a negro, en algunos lugares es de poco espesor.

Las intercalaciones calcáreas lenticulares alcanzan hasta 6,00 m de espesor; éstas son masivas grises y violáceas; aunque algunos horizontes finos se intercalan en la secuencia, confundándose entre los volcánicos estratificados.

Afloran en los cerros Llauría, Toro, Kansas y Cordero, al este del río Ica, se estima que esta secuencia volcánica tiene un espesor de 2500 a 3000 m. Carece de importancia para la prospección de aguas subterráneas y es parte de del basamento litológico impermeable.

##### **Formación Pisco (Ts – pi)**

Formación de edad miocénica, está constituida por una secuencia bien estratificada de intercalaciones de areniscas pardo verdusca, compacta, dura y quebradiza; margas de color blancuzco y estratos de lumaquelas que son típicamente de fase marina.

Aflora en la parte sur, margen derecha del río Ica, aguas abajo pasando por los caseríos hacienda Cerro Blanco. Esta formación debido a la textura fina que presentan, es considerado como el basamento impermeable.

##### **Depósitos Aluviales (Q – al)**

Son depósitos clásticos transportados ubicados ampliamente en valle del Río Ica. Se ha identificado tres etapas de depositaciones y posterior erosión de los sedimentos, lo cual ha dado lugar al modelamiento en tres (03) niveles antiguos del valle. Ver Mapa N° 01 y fotos del Anexo I.

### Depósitos Coluviales (Q – col)

Interdigitación de toda una línea de escombros antiguos que convergen al bajar por las laderas de los cerros, y que por acción tanto de la gravedad y ocasionales corrientes hídricas superficiales, se han fusionado más abajo en una pendiente ondulada. Litológicamente está constituido por clastos angulosos con sedimentos arcillosos, así como también por limos y arenas muy finas provenientes del litoral y transportados por acción eólica. Esta unidad posee aceptable permeabilidad y porosidad. Están restringidos a los pie de pendientes, y no son de interés hidrogeológico.

### Depósitos Eólicos (Q-e)

Son depósitos que adoptan una serie de formas como dunas, ondulas, crestas, y otras se han formado a lo largo de la faja litoral y en áreas que circundan y/o cubren los cerros de composición sedimentaria o ígnea - intrusiva y efusiva. En el área de estudio se ubican principalmente en la margen derecha del valle, especialmente cerca a las zonas de Ocucaje y Huacachina observándose también, en la pampa de Villacurí cerca al cerro Chunchanga. Los campos de dunas son materiales de cobertura, razón por lo que no son de interés hidrogeológico.

### ROCAS INTRUSIVAS

#### Intrusivos (P-agd, K-gb, K-mdi-h, K-mh, K-mr, K-di-p, K-gd-t)

Son cuerpos subvolcánicos de intrusiones tempranas y cuerpos plutónicos que constituyen el Batolito de la costa. Las rocas intrusivas alcanzan mayor desarrollo en la zona y se encuentran localizadas a lo largo de la vertiente occidental de los Andes, aflorando en forma de una franja de 30 Km de ancho aproximadamente y forman parte del Batolito de la Costa que se observa desde la localidad de Pescadores en Arequipa, al sur del país.

Esta enorme masa ígnea está conformada por rocas plutónicas que varían desde el gabro hasta el granito, sin embargo, en la zona predominan las rocas de naturaleza básica intermedia (calcosódica), representada por las dioritas y las tonalitas. Aparentemente las rocas ígneas de composición básica intermedia, como las dioritas, afloran en las parte bajas del valle, así como en las faldas de los cerros de este sector periférico, ya que las rocas ígneas de composición intermedia más ácida afloran en la zona pre-andina. Las rocas ígneas en el área de estudio son el basamento rocoso impermeable.

Cuadro N° 15  
Resumen de características geológicas del acuífero Ica

TIEMPO - ESTRATIGRAFÍA				TIPO DE ACUÍFERO	CARÁCTER HIDROGEOLÓGICO	COMPOSICIÓN LITOLÓGICA
ERATEMA	SISTEMA	SERIE	FORMACIÓN			
Mesozoico	Jurásico	Superior	Formación Guaneros		Basamento Impermeable	Volcánicas, calizas
Mesozoico	Cretáceo	Inferior	Grupo Yura		Basamento Impermeable	Areniscas, lutitas, calizas
Mesozoico	Cretáceo	Inferior Superior	Grupo Quilmaná		Basamento Impermeable	Volcánicos porfiríticos
Cenozoico	Terciario	Superior	Formación Pisco		Basamento Impermeable	Areniscas, lumaquelas
Cenozoico	Cuaternario	Pleistoceno - Reciente	Depósitos Aluviales	Libre	Acuífero Aprovechable	cantos, rodados, arena
Cenozoico	Cretáceo	Reciente	Depósitos Coluviales		Mat. De Cobertura	Arenas, guijarros y fragmentos
Cenozoico	Cuaternario	Reciente	Depósitos Eólicos		Mat. de Cobertura	Arenas
Paleozoico Mesozoico			Rocas Intrusivas		Basamento Impermeable	Adamelita, granodiorita, gabro, meladiorita,

mapa 13

## b) Hidrogeología

El reservorio acuífero del valle Ica, está conformado principalmente por depósitos aluviales y en forma secundaria por coluviales, siendo el más importante para la prospección y explotación de las aguas subterráneas, el primero de los nombrados litológicamente está constituido por cantos, gravas, guijarros, arenas, arcillas y limos entremezclados en diferentes proporciones, formando horizontes de espesores variables, los mismos que se presentan en forma alternada en sentido vertical.

La geometría de este acuífero presenta una forma cónica que se va ensanchando progresivamente en sección transversal, así en el sector de Trapiche tiene un ancho de 4 Km, aguas abajo pasando por los sectores de San Juan Bautista, Ica y Santiago; alcanza entre 10 y 20 Km.

Se encuentra por el norte, limitado lateralmente por masas rocosas que afloran en ambas márgenes del río Ica, aguas arriba se observa la presencia de los cerros Solano, Bandera, Yesera, Zurita, Yunque y Cordero, por el sur en su margen izquierda, el límite del acuífero está representado por los cerros Sacta, Ballena y Blanco, observándose que forman un estrecho en los cerros Paraya y Ocucaje.

En el valle de Ica, la prospección geofísica y la geología ha determinado que los depósitos aluviales cubren el lecho rocoso impermeable en la parte superior del valle (sector Trapiche), observándose además que aguas abajo, los aluviales suprayacen a los clastos finos (arcillosos) impermeables con potencias mayores de 250 m y éste, al lecho rocoso impermeable.

La napa freática es predominantemente libre, siendo su fuente de alimentación las aguas que se infiltran en la parte alta de la cuenca, así como también, las infiltraciones de las aguas provenientes del río Ica, canales de riego sin revestir y las áreas que se encuentran bajo riego.

El análisis de la morfología de la napa en el área de estudio concluye que en las zonas comprendidas entre San José de Los Molinos y Tate, el flujo subterráneo se orienta de noreste a suroeste con una gradiente hidráulica mayormente de 0,58 – 0,60 %, mientras que en la zona de Santiago y Ocucaje, presenta una gradiente hidráulica de 0,59 % – 0,77 %. Mientras que en la zona de Yauca del Rosario, el sentido del flujo es de este a oeste. Ver Mapa N° 02.

La profundidad de la napa freática en el área investigada fluctúa entre 1,45 – 3,11 m (Ocucaje y Fundo Cañaverál) y 60 – 61,46 m. (Los Aquijes, Santiago).

Las Pruebas de bombeo han permitido calcular los parámetros hidráulicos en todo el valle Ica, cuyo análisis permite deducir que el acuífero es libre y presenta de regulares a buenas condiciones hidráulica

Los radios de influencia en Ica fluctúan entre 80 y 443 m. Observándose en ciertos sectores de Ica una marcada interferencia de pozos y por consiguiente descensos de los niveles de agua.

La mineralización de las aguas, detectadas inicialmente por la prospección geofísica (valores muy bajos de resistividad ) y posteriormente confirmada por los análisis físico-químicos de ciertos sectores del distrito de Santiago y en todo Ocucaje, es debido principalmente al contacto prolongado con los sedimentos, siendo estos finos, se reduce la velocidad de la corriente por lo tanto su circulación es lenta a lo que habría que agregar que los niveles en esos sectores son superficiales (elevación de niveles), así como el ingreso de aguas salinas provenientes de la parte alta del valle.

#### 4.1. 13 CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA E HIDROGEOLÓGICA DEL ACUÍFERO NASCA

##### a) Geología

Las formaciones geológicas que comprende el área de estudio son las siguientes:

##### **Formación San Juan (PeC -sj)**

Aflora entre Punta Caballas y la desembocadura de Río Grande, en flanco norte de los cerros Huaricanga, en las inmediaciones de la Pampa Coyungo está conformada por calizas silicificadas gris claras, en bancos gruesos masivos, que contienen algunos clastos subangulosos de rocas metamórficas, sigue hacia arriba mármoles dolomíticos gris claros, en parte amarillentos y masivos, en paquetes medianos a gruesos.

##### **Formación Guaneros (Js – g)**

Es una secuencia volcánica – sedimentaria expuesta en la confluencia de los ríos Grande y Nasca. Consiste de derrames andesíticos grises a oscuros, afaníticos con estructuras amigdaloides en paquetes medianos a muy gruesos; presenta intercalaciones de lutitas grises con areniscas feldespáticas grises a grises claras y algunos niveles de calizas y margas gris claras a gris amarillentas, toda la secuencia se ve afectada por intrusiones de diques de naturaleza básica a intermedia.

Se observan afloramientos al este de Nasca.

##### **Grupo Yura (JsKi-y)**

Está constituida por areniscas cuarcíticas, gris claras a blanquesinas y violáceas en paquetes medianos a gruesos, con intercalaciones delgadas de limolitas y lutitas areníticas de color gris violáceas y blanquesinas finamente laminadas.

Se le ubica en los cerros San Andrés, Loma de Carhuapampa en el norte, y cerros Papagayo y Cruz del Chino en el sur; aflora en los alrededores de la localidad de El Ingenio una sección de 700 a 500 m del grupo Yura.

Entre Ingenio y Nasca, a lo largo de la carretera Panamericana, en los cerros Colorados y adyacentes, se observan pequeños afloramientos parciales del grupo Yura, los cuales están constituidos por intercalaciones de areniscas y cuarcitas blancas e intercaladas con lutitas y limolitas grises a grises violáceas. Esta unidad aflora en los cerros San Juan, Tambo El Sol, Piedra Gorda, Jumana, Pampa Salinas, Pampa de Atarca y Pampa de Majuelos.

##### **Formación Copará (Ki-co)**

Formación constituida en su parte inferior, por areniscas piroclásticas grises a gris verdosas de grano medio a grueso en capas delgadas intercaladas con microbrechas piroclásticas de la misma coloración.

La parte intermedia está representada por conglomerados compuestos de clastos de cuarcita y volcánicos, en una matriz areniscosa gris amarillenta de grano medio a grueso.

La parte superior de la formación consiste mayormente de brechas piroclásticas andesíticas en paquetes gruesos a muy gruesos con intercalaciones de calizas grises.

##### **Formación Portachuelo (Kis-po)**

Consiste de calizas grises a gris oscura, en capas medianas a delgadas, bandeadas y en parte modulares, intercaladas con calizas gris claras, son coquimíferas (restos de crinoideos y turrítulas) reemplazadas por calcita. Se intercalan también areniscas calcáreas grises a gris claras, de grano fino, en estratos delgados a medianos, bandeados y laminares. Esta formación aflora en los cerros Portachuelo y La Calera.

##### **Formación Pisco (Ts-pi)**

Es una secuencia del terciario superior, caracterizada por la presencia de diatomitas con intercalaciones de areniscas tobáceas y lutitas existe un remanente en la esquina suroeste del área.

### **Grupo Nasca (Ts-na)**

Cuya edad corresponde al mioceno inferior, está conformado por una secuencia de rocas volcánico-sedimentarias que afloran extensamente sobre las pampas al este de Nasca. Las secciones más representativas de la unidad, se observan en la carretera entre Nasca y Pampa Galeras, se diferencia una sección inferior compuesta de conglomerados polimícticos, gris claro a marrón claro, compuestos de cantos heterogéneos (hasta 20 cm) en una matriz arenosa, tobácea de grano fino a grueso mal clasificada. En el área de estudio, este grupo aflora en los cerros de la parte noroeste, como Maloso y Fraile y en la parte sureste, el cerro Falda Grande.

### **Formación Changuillo (TsQ - ch)**

Está constituida por limolitas, brechas, conglomerados y areniscas tobáceas, expuestos en los alrededores de la localidad de Changuillo.

Muestra facies típicamente continentales hacia las vertientes andinas y facies mixtas transicionales hacia la línea de la costa. En el primer caso son acumulaciones aluviales ocurridas durante crisis climáticas del plioceno terminal del Cuaternario Antiguo; los lodos y limos son depósitos fluviales de llanuras de inundación; mientras que los conglomerados y brechas son acumulaciones de piedemonte o de los principales cursos fluviales de la región que tuvieron actividad desde ese tiempo.

### **Depósitos Aluviales (Q-al)**

Son acumulaciones fluviales o fluvio-aluvionales, asociados a los conos de deyección de los ríos Nasca e Ingenio y a las numerosas quebradas que descienden del frente andino. En el área de estudio se diferencian tres etapas de depositaciones y posterior erosión de los sedimentos, los cuales han dado lugar al modelamiento de dos niveles antiguos. Ver mapa N° 14

### **Depósitos Coluviales (Q-col)**

Esta unidad incluye áreas que circundan a los afloramientos rocosos y por lo tanto han recibido material desprendido de las partes altas debido a los agentes del intemperismo y se han formado por la interdigitación de toda una línea de escombros antiguos que convergen al bajar por las laderas de los cerros y que por acción tanto de la gravedad y ocasionales corrientes hídricas superficiales se han fusionado. Está constituida por clastos angulosos con sedimentos arcillosos, así como también por limos y arenas muy finas provenientes del litoral y transportado por acción eólica.

### **Depósitos Eólicos (Q-e)**

Esta unidad está emplazada sobre los afloramientos rocosos, observándose que toda la ladera de la línea de colinas que va desde el cerro La Joya hasta los Corrales Santiago, se encuentran cubiertos de arenas. Esta cobertura eólica es completa en los cerros Blanco y Media Luna. Los mantos de arena están constituidos por arenas muy finas entremezcladas con partículas mucho más finas (del tamaño de la arcilla o limo) material que ha sido transportado por el viento.

## **ROCAS INTRUSIVAS**

### **Batolito de la costa (Ks-to/gd-t)**

El batolito de esta área, se ha emplazado en rocas sedimentarias y volcánicas sedimentarias del Jurásico y Cretácico. La mayor parte de los cuales se hallan como techos colgantes. Este tipo de afloramientos se aprecia en los cerros Molino, Colorados, Puntón de los Chivatos, Crucero, Aguada y los Corrales.

### **Complejo Bella Unión (Kis-bu)**

El complejo Bella Unión del cretácico superior temprano es un conjunto de cuerpos sub volcánicos de naturaleza andesítica que en el área de estudio, muestra características estructurales y litológicas homólogas a las descritas como facie típica, en general es una intrusión múltiple representada por brechas intrusivas, pequeños stocks y sistemas de diques, muy afines en su naturaleza composicional y de estrecha asociación entre sí. Las brechas están compuestas por fragmentos y bloques angulares y sub angulares de andesitas y dacitas porfíroides de colores gris, verdosos y violáceos por alteraciones. Aflora en los cerros Puntía de Copara, Negro, Taruga, Orcona, San Pablo y Cabeza de Cura.

mapa 14

Cuadro N° 16  
Resumen de características geológicas del acuífero Nasca

TIEMPO - ESTRATIGRAFÍA				TIPO DE ACUÍFERO	CARÁCTER HIDROGEOLÓGICO	COMPOSICIÓN LITOLÓGICA
ERATEMA	SISTEMA	SERIE	FORMACIÓN			
Precámbrico		PeC	Fm. San Juan		Basamento Impermeable	Calizas, mármoles
Mesozoico	Jurásico	Superior	Formación Guaneros		Basamento Impermeable	Andesíticos, lutitas, calizas, margas
Mesozoico	Jurásico Cretáceo	Superior inferior	Grupo Yura		Basamento Impermeable	Areniscas, limilitas, lutitas, cuarsitas, calizas
Mesozoico	Cretáceo	Inferior	Formación Copará		Basamento Impermeable	Areniscas, conglomerados, brecho, andesíticas
Mesozoico	Cretáceo	Inferior Superior	Formación Portachuelo		Basamento Impermeable	Calizas, areniscas, calcáreas,
Cenozoico	Terciario	Superior	Fm. Pisco		Basamento Impermeable	Areniscas tobáceas y lutitas
Cenozoico	Terciario	Superior	Grupo Nasca		No aprovechable	Conglomerados
Cenozoico	Terciario cuaternario	Superior	Formación Changuillo		No aprovechable	Limolitas, brechas, conglomerados, areniscas, tobáceas,
Cenozoico	Cuaternario	Pleistoceno - Reciente	Depósitos Aluviales	Libre	Acuíf. Aprovechable	Cantos, arenas, grava, arcilla, rodados
Mesozoico	Cuaternario	Reciente	Depósitos Eólicos		Mat. de Cobertura	
Mesozoico	Cretáceo	Superior	Intrusivo - Batolito de la costa		Mat. De Cobertura	Tonalitas , granodiorita
Mesozoico	Cretáceo	Inferior Superior	Intrusivo - Complejo Bella Unión		Mat. De Cobertura	Brechas, andesitas y dacitas

## b) Hidrogeología

En el área de estudio el acuífero está conformado principalmente por depósitos cuaternarios de tipo flujo aluvial; siendo los agentes responsables los ríos Trancas y Nasca.

En el río Trancas, el acuífero está limitado por los cerros Corrales, la Joya, Negros, Huallurí Puntilla de Copara, Puntilla Chauchilla, observándose además que entre los sectores de Marcha y Copara el acuífero tiene forma alargada mientras que entre los sectores de pampa las Huacas y pampa Pajonal, el acuífero tiene la forma de un rectángulo. El acuífero del río Nasca, se encuentra limitado por afloramientos rocosos como Pongo de Orcona, Aja, Altos de Nasca y La Cantera, presentando dos ramales en forma alargada por donde discurre las aguas de los ríos Tierra Blanca y Aja. A partir del sector Belén Bajo, Cantayoc hasta Pampas Cinco Cruces, el acuífero toma la forma de un abanico.

El acuífero del río Trancas es variable así tenemos que a partir del sector Marcha, tiene un ancho de 1 500 m, el mismo que se va ensanchando hasta alcanzar aproximadamente 2 000 m en el sector de Copará. Entre Pampas de Huacas y Pajonal, el acuífero tiene un ancho promedio de 11 500 m; el mismo que se reduce en el sector de Huarango a 4 500 m. El acuífero del río Nasca es irregular, presenta dos ramales entre el sector Pongo y Orcón por un lado y en el sector Sol de Oro y Tierra Blanca por el otro. Así en el sector Tierra Blanca, el acuífero tiene un ancho de 2 500 m y se va ensanchando progresivamente hasta 6 000 m aproximadamente entre los sectores de Pampa Cinco Cruces y Pampa Buenos Aires. Litológicamente estos depósitos están conformados por bloques, cantos, guijarros, gravas, arenas, arcillas y limos entre mezclados en diferentes proporciones formando horizontes de espesores variables, los mismos que se presentan en forma alternada en sentido vertical.

La napa freática en el valle de Nasca es libre; siendo su fuente de alimentación las aguas que se infiltran de la parte alta de la cuenca (zona húmeda); así como también las infiltraciones de las aguas provenientes del río Nasca y, las que se producen a través de los canales de regadío (enero a marzo) y áreas de terrenos bajo riego.

La morfología de la napa es variable, observándose que el flujo subterráneo tiene dos direcciones principales; de noreste a suroeste y de sureste a noroeste; mientras que, la gradiente hidráulica varía de 0,79 % a 3,50 % llegando puntualmente a 6,06 %.

La profundidad de la napa freática en el valle Nasca se ubica entre **0,45 m – 0,94 m.** y **41,50 m a 42,15 m,** llegando incluso a **62,05** y **69,57 m** de profundidad (Pajonal Alto y Pampa Chauchilla respectivamente). En el valle Nasca, se han ejecutado 14 pruebas de bombeo, cuyo análisis ha permitido deducir que el acuífero del valle es libre y presenta de regulares a aceptables condiciones hidráulicas.

#### 4.1.14 CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA E HIDROGEOLÓGICA DEL ACUÍFERO CHILI

##### a) Geología

Las formaciones geológicas que comprende el área de estudio son las siguientes:

##### **Gneis de Charcani (Pe - char)**

Su edad es probablemente Precámbrica y representa a las rocas más antiguas de la región. Se encuentra en forma restringida debajo del volcánico Sencca, próximo a la localidad de Mollebaya y a lo largo del río del mismo nombre. Es gneis típico de inyección granítica bien compacta, de color marrón algo grisáceo, y con una orientación principalmente hacia el noroeste. Al **Sur** de Mollebaya, el gneis tiene una longitud aproximada de 2800 m. mostrando cierta variación con respecto al primero. Son parte del basamento rocoso impermeable.

##### **- Volcánico Sencca (Q - vse)**

La base del volcánico Sencca, está constituida por un paquete de aproximadamente 80 m. de grosor compuesto por un tufo arenoso brechoide, de color gris, poco compacto, con fragmentos angulosos, subredondeados de andesita y pómez. Encima está otro tufo igualmente brechoide, color blanco, compacto lapillítico, con un grosor de 60 m. que subyace a otro de características parecidas, pero con abundante cuarzo y mica negra, compacto, cuyo espesor es de 40 m. Aflora a lo largo de los ríos Sumbay, Blanco y Chili, se encuentra constituyendo una faja angosta, la misma que se ensancha en algunos lugares por la erosión de los sedimentos suprayacentes. Hacia el suroeste, especialmente en el río Yarabamba, afloran tufos rosados y grises, conformados por rocas compactas, porosas y poco fracturadas.

El espesor total del volcánico varía entre 200 y 250m. aproximadamente. En el valle de Chili, este volcánico constituye el principal acuífero de la margen derecha del río Chili, lo cual ha sido corroborado por los pozos profundos ubicados dentro de este volcánico.

##### **- Volcánico Chila (Q - vchi)**

Se encuentra distribuido a lo largo del límite occidental del área estudiada, desde las cercanías de la ciudad de Arequipa hasta la altura del volcán Misti y del nevado Chachani. Las brechas están constituidas por elementos andesíticos angulares y subangulares de tamaño variable, las cuales se hallan en una matriz andesítica, algo tufácea, regularmente compacta, que adquiere una coloración gris clara y rojiza por intemperismo, los aglomerados están formados por elementos andesíticos en una matriz tufácea, subredondeados, poco compactos y de coloración rojiza por el intemperismo. Al igual que las brechas, sus capas se intercalan con lavas cuyos espesores varían entre 5 y 10 m.

##### **Flujos de Barro (Q - fb)**

Litológicamente estos depósitos están representados por una masa formada por fragmentos y bloques angulares de rocas de origen volcánico (tufos, lavas) en una matriz areno-tufácea o arcilloso poco consolidada. Aflora en Socabaya, cerca a la Urbanización Hunter y en la falda occidental del Misti, asimismo se observa en Chiguata y Sabandía. Debido a la escasa compactación, los ríos y arroyos allí presentes, han profundizado sus cauces con gran facilidad, dando lugar a quebradas de paredes verticales o casi verticales, que llegan hasta 200 m. de altura, lo cual cambia la monotonía del relieve general, caracterizado por colinas de perfiles regulares a excepción de las partes más bajas, donde conforman una superficie solamente ondulada.

### **Depósitos Piroclásticos Recientes (Qr - pi)**

Se encuentran ampliamente distribuidos al **norte** y **este** del volcán Misti, así como en la parte oriental del nevado Chachani, extendiéndose hasta Apacheta, cubre a formaciones de diferentes edades. Es una alternancia de capas de arena, lapilli y cenizas volcánicas; éstos últimos es el nivel más superficial y se presenta a veces mezclado con arena volcánica sin estratificación. Presenta espesores entre 10 m y 15 m.

### **Depósitos Aluviales (Q –al)**

Son acumulaciones de clásticos constituidos por gravas, arenas, limo arcillosos y cantos; entremezclados en diferentes proporciones debido a que han sido depositados bajo condiciones muy variables en cuanto a volumen y velocidad de flujo. Estos depósitos constituyen mayormente el área agrícola del valle Chili.

Los depósitos aluviales están ubicados a lo largo de todo el valle constituyendo las terrazas aluviales y formando el lecho actual del río.

- Cauce mayor o lecho actual del río (Q-t0)
- Primera terraza (Q – t1)
- Segunda terraza (Q – t2)
- Tercera terraza (Q – t3)

El cauce se caracteriza por la presencia de cantos rodados, arenas, gravas, y bloques de roca (0.50m), mientras que las terrazas están conformadas por gravas , arenas y material aluvional, arcillas en diferentes espesores. Ver Mapa N° 15

### **Depósitos Coluviales (Q - c)**

Esta unidad incluye áreas que circundan a los afloramientos rocosos y por lo tanto, han recibido y siguen recibiendo material desprendido de las partes altas debido a los agentes del intemperismo. Está constituido por depósitos en plano inclinado y por clastos angulosos con sedimentos arcillosos, así como también por limos y arenas muy finas provenientes del litoral y transportado por acción eólica. Esta unidad posee aceptable permeabilidad y porosidad, sin embargo la alimentación es reducida y por ende la prospección y explotación de las aguas subterráneas es casi nula.

### **Rocas Igneas Intrusivas (KTi-to, KTi-mz, KTi-gr, KTi-gd, KTi-gbdi, KTi-ad KTi-br)**

Forman parte del Batolito de la Costa y dentro del área de estudio constituyen una cadena montañosa. Han diferenciado varias unidades: Tonalita Torconta, Gabro-diorita, Fonolita, monzonita, granitos, granodioritas, gabrodioritas, adamelitas, brechas, Grupo Vitor, Granodiorita y diques de cuarzo. Estas rocas por su litología representan al basamento rocoso en el área estudiada.

MAPA 15

Cuadro N° 17  
Resumen de características geológicas del acuífero Chili

TIEMPO - ESTRATIGRAFÍA				TIPO DE ACUÍFERO	CARÁCTER HIDROGEOLÓGICO	COMPOSICIÓN LITOLÓGICA
ERATEMA	SISTEMA	SERIE	FORMACIÓN			
Precámbrico		Pe	Gneis de Charcani		Basamento Impermeable	Gneis,
Cenozoico	Plioceno	Medio a Superior	Volcánico Sencca		Basamento Impermeable	Tufo, pómez, andesita, brechoide
Cenozoico	Cuaternario	Plio Pleistoceno	Volcánico Chila		Basamento Impermeable	Brechas, andesíticos, aglomerados,
Cenozoico	Cuaternario	Neo Pleistoceno	Brujos de Barro		Basamento Impermeable	Tufos, lavas
Cenozoico	Cuaternario	Reciente	Deposito Piroclásticos Recientes		Basamento Impermeable	Arena, lapili, cenizas
Cenozoico	Cuaternario	Pleistoceno-Reciente	Depósitos Aluviales	Libre	Acuif. Aprovechable	Gravas, arenas, limo arcilloso y cantos
Cenozoico	Cuaternario	Reciente	Depósitos coluviales		Mat. De Cobertura	Clastos angulosos, arenas, limos, arcillas
Mesozoico	Cretáceo Terciario	Inferior	Rocas Ígneas Intrusivas		Basamento Impermeable	Tonal, monzitas., granodtas., gabrodioritas, adamelitas, brechas etc.

## b) Hidrogeología

El valle Chili tiene la forma de un rombo, en la que sus lados están conformados por diferentes distritos que comprenden la provincia de Arequipa. Uno de sus lados comprende los distritos de Uchumayo, Sachaca, Cerro Colorado y Cayma, los mismos que se encuentran en la parte Norte, ingresando a la ciudad de Arequipa; otro de sus lados está conformado por los distritos de Chiguata, Paucarpata, Quequeña, Yarabamba y Socabaya, que están ubicados en la parte oriental.

Los lados de esta figura, son irregulares, los mismos que se encuentran limitados por el Norte con los afloramientos de los cerros Gloria, San Martín, Huasamayo, Palca y Las Laderas, por el Sur por el nevado Pichu Pichu y parte de la cadena de afloramientos que se ubican en el departamento de Moquegua, mientras que por el Este, por los afloramientos de los cerros Verde, Llorón, Cortaderal y Atravezado y finalmente por el Oeste por los cerros Gramadal, Hualhuani, Pampa Estanquillo, nevado Chachani, volcán Misti y el cerro Torrine.

Debe indicarse que el valle Chili, dentro del límite de acuífero se encuentra conformado por pequeños afloramientos rocosos, atravesado por el río Chili y un sinnúmero de quebradas que son filtraciones de los nevados Pichu Pichu y Chachani. El ancho del acuífero presenta dimensiones variables, así en su parte inicial varía entre 5000 y 7000 m, mientras que entre los sectores Pampas de Chilcayo y Chilina fluctúa entre 11000 y 12000 m. Por otro lado, entre los sectores Pampa Escalerilla y Santa Luisa, las dimensiones varían entre 11500 m y 12000 m. En la parte intermedia, el valle tiene dimensiones que varían de 10000 m. (cerro San Ignacio) a 11000 m (cerro Alto de Jesús), mientras que entre los sectores Yumina y Santa Martha fluctúa entre 7500 m y 8000 m, mientras en los sectores Santa Ana y Cerrillo varían de 3000 m a 3500 m.

El acuífero está conformado por materiales aluviales y por depósitos de los volcánicos Barroso y Sencca, así como también por flujos de barro y piroclásticos recientes Litológicamente, los aluviales están conformados por depósitos de cantos, gravas y guijarros en matriz areno-arcilloso; mientras que el volcánico Sencca por tufos arenosos brechoides con fragmentos angulosos y subredondeados; y el barroso por lavas y brechas en bancos de 5 a 10 m de espesor

En el valle de Chili, el sentido de flujo subterráneo tiene dos (02) orientaciones principales, la primera es de sureste a noroeste y la segunda de noreste a suroeste, en forma secundaria existe una tercera que se orienta de noroeste a sureste (zona V). En ese sentido, el primero de los nombrados prevalece en las zonas I y II, mientras que la segunda destaca en las zonas III, IV y V.

En el área de estudio se han ejecutado cuatro (04) pruebas de bombeo, cuyo resultado (parámetros hidráulicos) ha determinado que el acuífero es libre y presenta de regulares a buenas condiciones hidráulicas.

El radio de influencia para bombeos de 8 a 24 horas/día varía entre 90,00 m y 189,64 m respectivamente, valores que han determinado que en casi todo el valle, no existan problemas de interferencia de pozos.

#### 4.1.15 CARACTERIZACIÓN GEOLOGICA E HIDROGEOLOGICA DEL ACUÍFERO MOQUEGUA-ILO

##### a) Geología

Las formaciones geológicas que comprende el área de estudio son las siguientes:

##### **Volcánico Toquepala (Kti-to)**

Son derrames volcánicos, aglomerados y brechas de flujos piroclásticos, de composición andesítica, dacítica y riolítica con color gris claro o gris verdoso. Se le ubica en la parte norte (nor-oriental y nor-occidental), también en los cerros Trapiche, Huaracane, Estuquiña y Los Angeles, en el extremo sur (cerros Buitre y Chincha) en el encajonamiento del valle Moquegua, río Osmore (cañón). En el encañonamiento Osmore esta en ambos flancos y en una extensión de aproximadamente 20 Km. En el primer kilómetro del río Osmore, las rocas son de grano fino y de coloraciones verduscas y van cambiando kilómetros abajo, a rocas de grano medio, textura porfirítica y coloración gris oscura. Por su posición estratigráfica esta formación pertenece al Cretáceo superior. Son impermeables.

##### **Formación Moquegua (Ts-mo)**

Sedimentos continentales típicos del valle Moquegua, serie alternada de arcillas rojizas, areniscas arcósicas, conglomerados, areniscas tufáceas y tufos rosados o amarillentos. expuestos ampliamente en ambos flancos del valle, Por su posición estratigráfica esta formación es del Terciario Superior. Presenta dos miembros: inferior y superior.

- **Moquegua Inferior (Ts-moi)**

Está expuesta en la parte baja de los flancos del valle, desde las inmediaciones de la ciudad de Moquegua, hasta el lugar donde comienza a encajonarse, formando una garganta (cañón). En la margen izquierda del valle cerca a El Molle, está representado por una secuencia de areniscas arcósicas, color gris de grava media a gruesa que alternan con areniscas arcillosas y lentes de conglomerados, estratificadas en capas hasta de 0,8 m. y buzan generalmente al sureste. Fuera del área de estudio aflora en el flanco izquierdo de la quebrada Guaneros.

- **Moquegua Superior (Ts-mos)**

Yace sobre el Moquegua inferior y algunas veces sobre la formación Toquepala. Su litología es principalmente areno-conglomerádica y en forma secundaria se intercalan tufos, areniscas tufáceas y arcillas. A la altura de El Molle en el flanco izquierdo del valle, se observa una secuencia alternada de areniscas de grano grueso, tufos blancos redepositados y areniscas tufáceas grises, gran parte de la superficie de esta formación está cubierta por una capa aluvional, lo que no ocurre en la margen opuesta donde se halla ausente. Hidrogeológicamente esta unidad debido a que está conformado por rocas de escasa permeabilidad, se considera como el substrato rocoso impermeable. La formación Moquegua es el basamento impermeable.

##### **Volcánico Huaylillas (Ts-vhu)**

Este volcánico ha sido erosionado y tan solo quedan algunos pequeños remanentes, los cuales se aprecia en el mapa, su composición es correspondientes a tufos, derrames lávicos ignimbríticas de colores blanco y rosado y son dacíticos y riolíticos superficialmente intemperizan a a pardo rojizo o pardo amarillento. Esta roca es en parte porosa como tufo y en parte densa y vítrea como derrame. Se le ubica en la zona norte en forma de lenguas.

### **Terrazas Aluvionales (Q-t<sub>1</sub>, Q-t<sub>2</sub>, Q-t<sub>3</sub>)**

Geformas del cuaternario como consecuencia de crisis climáticas que determinaron la formación de las tres terrazas en el valle Moquegua.

### **Depósitos Coluviales (Q-col)**

Estos depósitos afloran en pequeña proporción e incluye las áreas que circundan a los afloramientos rocosos, está constituida por fragmentos angulosos, que se acumulan en forma muy caótica originando una topografía muy irregular, pasando por Fundición, Chaspaya y otras; todos éstos pertenecientes al sector de Ilo. Por su localización y volumen, estos depósitos carecen de importancia para la búsqueda de aguas subterráneas.

### **Depósitos aluvionales (Q-alv)**

Afloran ampliamente, principalmente en la margen izquierda apreciándose en los cortes de la carretera Panamericana. Se encuentran cubriendo desde las faldas de los cerros Batolito y Lagunillas (ubicadas al nor-este de Moquegua fuera de la zona de estudio) hasta aproximadamente El Conde, en lugares como Samegua, Los Cerrillos, San Francisco, Locumbilla, Belén, San Antonio, Cruz Verde, El Palmo, Corpanto y San José. Su potencia en algunos lugares llega a 200 m y va decreciendo hacia el sur-oeste. Estos depósitos están constituidos por gravas, cantos redondeados, subredondeados y subangulares, mayormente volcánicos de coloración parduzca y semiconsolidadas. Los cantos presentan dimensiones que varían entre 5 y 25 cm. de diámetro, todos ellos englobados en una matriz areno-arcillosa.

Superficialmente estos depósitos se presentan en forma de lomadas suaves, con una coloración pardo rojizos en su conjunto, aunque en ciertos sectores presentan manchas blanquizcas. Se deduce por lo observado en el campo, en Los Ángeles donde son más amplias y potentes, terminando en el fondo del valle. En la zona donde se ubica la ciudad de Moquegua, se observa el descenso de potentes mantos de este material, que ha originado una topografía especial a esta ciudad. El cono comienza a la altura de Los Cerrillos y finaliza en Cruz de Portillo. Ver Mapa N° 16.

### **Depósitos Aluviales (Q-al)**

Son acumulaciones de arcillas, arenas, gravas, cantos y bloques en diferentes proporciones, han sido transportados por el río, dando origen a depósitos fluvio-aluviales y al valle en sí, los cuales constituyen el área agrícola (valle Moquegua – Ilo). Han determinado tres etapas de depositación y posterior erosión.

De acuerdo a prospecciones geoelectricas y a perfiles litológicos, éstos depósitos presentan espesores que varían entre 8,00 m. y 77,00 m. en el sector de Moquegua y de 10,00 m. a 43,00 m. en el sector de Ilo. Estos depósitos, debido a su volumen, litología, condiciones hidráulicas y distribución en la cuenca son considerados como los más importantes para la prospección y explotación de las aguas subterráneas.

### **Depósitos Marinos Recientes (Q-tm)**

Son depósitos que ocupan una extensión muy limitada y se hallan localizadas en una estrecha franja, la cual corre a lo largo de la línea costera. En el sector de Ilo se encuentra delimitado por escarpas de erosión de 1 a 4 m de altura. Está representado por depósitos de arena de grano fino o medio. Estos depósitos presentan buena permeabilidad, pero no tienen mayor incidencia en la hidrogeología del área de estudio.

MAPA 16

Cuadro N° 18  
Resumen de características geológicas del acuífero Moquegua - Ilo

TIEMPO - ESTRATIGRAFÍA				TIPO DE ACUÍFERO	CARÁCTER HIDROGEOLÓGICO	COMPOSICIÓN LITOLÓGICA
ERATEMA	SISTEMA	SERIE	FORMACIÓN			
Mesozoico	Cretáceo Terciario	Inferior	Volcánico Toquepala		Basamento Impermeable	Aglomerados, brechas, piroclásticas, andesítica, dacítica, riolítica
Cenozoico	Terciario	Superior	Formación Moquegua		Basamento Impermeable	Arcillas, areniscas, conglomerados, tufáceas, tufo, rosado
Cenozoico	Terciario	superior	_Moquegua inferior		Basamento Impermeable	Areniscas arcillosas, lentes de conglomerados
Cenozoico	Terciario	Superior	_Moquegua superior		Basamento Impermeable	Areno conglomeradico, areniscas tufáceas y arcillas
Cenozoico	Terciario	Superior	Volcánico Huaylillas		Basamento Impermeable	Tufos, derrames lávicos (riolitas, andesitas)
Cenozoico	Cuaternario	Pleist. - Reciente	Terrazas Aluvionales		No aprovechable	Conglomerados
Cenozoico	Cuaternario	Reciente	Depósitos coluviales		Mat. de Cobertura	Fragmentos angulosos al pie de talud
Cenozoico	Cuaternario	Pleist. - Reciente	Depósitos Aluvionales		No aprovechable	Gravas cantos redondeados,
Cenozoico	Cuaternario	Pleist. - Reciente	Depósitos Aluviales	Libre	Acuíf. Aprovechable	Arcillas, arenas, gravas, cantos, bloques
Cenozoico	Cuaternario	Reciente	Depósitos marinos recientes		Basamento Impermeable	Generalmente arenas.

## b) Hidrogeología

Para su descripción, el valle ha sido dividido en dos zonas, la primera comprendida por los distritos de Samegua y Moquegua y la segunda corresponde desde El Algarrobal, Pacocha hasta Ilo.

En su primer sector el acuífero en la parte norte del valle tiene forma triangular; observándose la mayor dimensión entre los sectores de Samegua, Aguas Muertas, Estuquiña y Yahua; y se reduce en dirección del recorrido de los ríos Tumilaca y Huaracane, hasta La Chimba donde confluyen ambos ríos. Entre los sectores Yaravico hasta Ramadón presenta la forma de un canal alargado, de corta dimensión el mismo que en el sector Rodríguez Piedra se reduce abruptamente. La parte baja del valle que corresponde a Ilo, a partir del sector el Yaral hasta el litoral, el acuífero presenta la misma forma que el tramo antes descrito.

El valle Moquegua - Ilo en toda su extensión está limitado lateralmente por masas rocosas que afloran en ambos márgenes del río del mismo nombre, así en Moquegua, el límite lateral del acuífero está representado por los cerros Estuquiña, Huaracané y Los Ángeles, mientras que en Ilo lo conforman los cerros Cuchillas, Sicitilla, Chilatilla, Buitre, Chololo, Loreto y Sombrilla.

Por otro lado, debe indicarse que el límite inferior lo constituye los afloramientos rocosos antes nombrados, mientras que el límite superior está representado por la superficie freática.

El inferior, ha sido determinado indirectamente por la prospección geofísica, obteniendo valores en Moquegua de 8,00 a 77,00 m y en Ilo, de 10,00 a 43,00 m.

En la parte superior del acuífero entre los sectores de Samegua y Yahuar, tiene un ancho de 4,5 Km y se reduce en la parte donde se unen los ríos Huacané y Tumilaca en el sector La Chimba con 1 Km. Asimismo observamos que entre los sectores de Santa Rosa y La Merced tiene un ancho de 1,30 Km., mientras que en los sectores Locumbilla, San Antonio y La Rinconada llegan a 0,65 Km; mientras que hacia Ilo, presenta dimensiones que fluctúan entre 0,20 y 0,45 Km.

El reservorio acuífero está constituido principalmente por sedimentos fluvioaluviales del cuaternario reciente. Litológicamente está conformado por bloques, cantos, guijarros, gravas, arenas, arcillas y limos entremezclados en diferentes proporciones formando horizontes de espesores variables, los mismos que se presentan en forma alternada en sentido vertical.

El acuífero en el área de estudio está delimitado lateralmente por masas rocosas que afloran a ambos lados del valle, los mismos que pertenecen al volcánico Toquepala y a la formación Moquegua.

En el área investigada la napa freática contenida en el acuífero es libre y superficial, siendo su fuente de alimentación; las aguas que se infiltran en las partes altas de la cuenca (zona húmeda), así como también las que se infiltran a través del lecho del río, en los canales sin revestir y, en las áreas de cultivo que se encuentran bajo riego.

La morfología de la napa es relativamente uniforme, observándose que el flujo subterráneo sigue una orientación principal de noreste a suroeste, con una gradiente hidráulica que varía entre 0,58 – 1,00 % y 2,50 – 2,59 %. En la zona I (Moquegua), los niveles de agua varían de 0,77 – 0,80 m a 2,84 – 2,91 m observándose valores puntuales hasta de 8,72 m (Santa Rosa); mientras que en la zona II (Ilo), los niveles fluctúan de 0,90 – 1,00 m a 2,50 – 2,68 m. En el área de estudio se han ejecutado dieciocho (18) pruebas de bombeo, cuyo resultado (parámetros hidráulicos) ha determinado que el acuífero es libre y de regulares condiciones hidráulicas. Los radios de influencia en el área investigada para bombeos de 6 a 24 horas /día fluctúan de 31,18 – 291,63 m a 62,35 – 583,27 m, valores que han determinado que en gran parte del valle no existen problemas de interferencia de pozos.

#### 4.1.16 CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA E HIDROGEOLÓGICA DEL ACUÍFERO SAMA

##### a) Geología

Las formaciones geológicas que comprende el área de estudio son las siguientes:

##### **Formación Volcánico Chocolate (Ji – vch)**

En el cuadrángulo de Locumba existen dos exposiciones, una al norte del cerro Meca Grande y el otro, al sur, formando el morro Sama. En este último lugar se observa en la base, una serie de derrames gris oscuros, en bancos gruesos, con intercalaciones de brechas marrones y andesitas porfiríticas o afaníticas en la parte superior. Estas rocas están representadas predominantemente por derrames andesíticos. La formación volcánica del área en estudio se correlaciona con el volcánico Chocolate de Arequipa y le consideran de edad jurásica inferior.

##### **Formación Guaneros (Js – g)**

Está compuesta de capas sedimentarias de origen marino intercaladas con gruesos miembros volcánicos y secundariamente de capas de caliza de color gris a chocolate. Yace con discordancia sobre el volcánico Chocolate y está debajo del volcánico Toquepala., cuyas rocas afloran en el borde de la planicie costanera, aflora en los cerros de La Yarada, Miraflores, Siete Colores, Punta Colorada, Angola y Moreno, en la desembocadura del Río Sama (Playa Boca del Río). Su edad es Calloviana.

##### **Formación Toquepala (KTi – to)**

Afloran en la parte media y baja del frente andino del sur del Perú. Litológicamente está conformada en la parte inferior por aglomerados riolíticos; mientras que en la parte superior por derrames andesíticos de color pardo oscuro a marrón, de textura variable, el espesor se ha estimado en 1.00 kilómetro y subyace con discordancia angular a la formación Moquegua del Terciario Superior, en cambio su base no se observa, aunque en lugares cercanos sobreyacen discordantemente a las formaciones Yura y Guaneros.

##### **Formación Moquegua (Ts – mos)**

Con este nombre se conoce regionalmente en el sur del Perú a la formación de origen continental de gran distribución a lo largo de la costa. Son capas de arcillas rojizas, areniscas grises arcóscas con lentes de conglomerados y bancos de tufos volcánicos, cubiertas parcialmente por depósitos aluviales del Cuaternario.

El contacto inferior es discordante con la formación Guaneros en el área de Ilo; mientras que en Locumba yace sobre la superficie erosionada de rocas intrusivas y del volcánico Toquepala. están cubiertos en discordancia por la formación Huaylillas y los depósitos aluviales recientes. Los afloramientos del Moquegua inferior se encuentran en el fondo de las quebradas Honda y Seca; mientras que el Moquegua superior se encuentra formando colinas bajas y superficies casi planas. cuya edad ha sido asignada al Terciario superior

#### **Formación Huaylillas (Ts – vhu)**

Secuencia de piroclásticos, principalmente tufos que cubren discordantemente a la formación Moquegua, consiste de tufos blancos riolíticos en la parte inferior, tufos dacíticos compactos de color rosado en la parte media y tufos blancos riolíticos en la parte superior, espesor estimado de 500 m. Afloran a manera de sombreros sobre las cumbres de algunos cerros como Munipata, Alto Grande, Gordo, Alto de Chipe y cerro del Medio. cuya edad varía entre el Mioceno y el Plioceno

#### **Depósitos de Yeso (Qpl-y)**

Son depósitos ubicados al norte de la desembocadura del río Sama, estos depósitos de yeso amorfo hasta 1.5m de espesor se intercalan con horizontes de barro yesífero y lentes ocasionales de arenas y conglomerados, superficialmente está cubierto por arenas y gravas su máximo espesor es de 60m

#### **Cenizas Volcánicas (Q – c)**

En diferentes lugares de las pampas se observan pequeñas acumulaciones de cenizas volcánicas de color blanco, blandas hasta pulverulentas, mezcladas con grava fina, generalmente se encuentran en suaves hondonadas cubriendo a los aluviales y formaciones más antiguas, son derrames andesíticos que se correlaciona con el volcánico Chocolate de Arequipa y son del jurásico inferior.

#### **Depósitos aluviales (Q-al)**

El material aluvial está constituido por gravas semiconsolidadas con intercalaciones lenticulares de arena gruesa, arcilla y tufos redepositados; de estratificación más o menos horizontal en forma de abanicos aluviales de piedemonte.

En la superficie de la depresión costanera, cuyo grosor de estos aluviales varía desde pocos centímetros hasta un máximo de 60 metros, comprobados en los cortes de las numerosas quebradas y también en el registro de las perforaciones por agua subterránea en las pampas cerca a las Yaras – Sama. Estos materiales sobreyacen con discordancia a las formaciones más antiguas incluyendo a las rocas intrusivas. Ver Mapa N° 16.

En el campo se ha observado la existencia de dos etapas de depositación y posterior erosión de los sedimentos, los que han dado lugar al modelamiento de dos (02) niveles antiguos del valle.

- **Cauce mayor o lecho actual del río (Q – to)**

Está constituida por áreas donde discurre el río Sama, en el curso del río se pueden observar materiales que son depositados en diferentes sectores del valle hasta llegar a la desembocadura del Océano Pacífico (entre los sectores Boca del Río y Vila Vila). Los materiales encontrados son arenas, gravas, arcillas y cantos rodados.

- **Terrazas (Q-t1 y t2)**

Ubicadas en ámbito del río Sama, sus características geométricas varían, son de frente de poca altura y están compuestas de limos y arcillas.

#### **Depósitos eólicos (Q – e)**

Estos depósitos están conformados por arenas sueltas transportadas por el viento y depositadas en forma de montículos, lenguas y mantos delgados que se encuentran cubriendo a las rocas en los cerros de La Yarada, Llostov, Siete Colores y Punta Colorada.

Los depósitos eólicos se aprecian en las inmediaciones de los cerros Alto Grande, Lomas de Sama, cerro Gordo, Alto de Chipe y del Medio, lomas Arrojadero y pampa cerro Cascoso y cerro Canicora.

Mapa 17

### Depósitos marinos (Q – m)

El material de esta terraza consiste de conglomerados gruesos, lentes de arena fina de color gris violáceo y arena gruesa de color gris con abundante restos de conchas y venillas de yeso, su grosor varía de 5 a 30 m., yace sobre una superficie de abrasión marina labrada en diorita y superficialmente cubierto con materiales aluviales y eólicos. Los restos de conchas encontrados pertenecen a especies que actualmente viven en el mar.

### ROCAS INTRUSIVAS

Forman parte del gran batolito de la costa, cuyas relaciones indican que el emplazamiento es de edad pre – Terciario superior y puede ubicarse entre el Cretáceo Superior y comienzos del Terciario inferior. Por su composición, las rocas intrusivas varían desde diorita gabroide hasta granito, pero predominan las granodioritas afloran en cerro Puite y morro Sama. Continuación una breve descripción:

#### Diorita (KTi – di)

La diorita en muestra fresca es una roca de color oscuro a blanquesino, holocristalina con textura granular de grano medio a grueso, compuesta por plagioclasas gris blanquecinas, abundante hornblenda en cristales de 6 a 8 milímetros de largo, biotita y escaso cuarzo. Las mejores exposiciones de esta roca se observan en el borde de las terrazas frente a la línea de costa y en los cortes de las quebradas que bajan al mar, también se observa al norte del Morro Sama constituyendo una angosta faja que se extiende desde la orilla del mar hasta las escarpas que ascienden a los cerros Meca Grande y Meca Chica.

#### Granodiorita (KTi – gd)

Se presenta intruyendo a la formación Tamayo, al volcánico Chocolate y también a las rocas de la formación Guaneros, esta roca es holocristalina, de textura granular, con color uniforme gris claro a blanquecino y muchas veces teñida superficialmente de color rojizo por descomposición de las numerosas vetillas de hematita.

En muestra fresca consisten principalmente de plagioclasas gris claras de tamaño variable entre 2 y 10 milímetros de largo, granos redondeados de cuarzo y en menor proporción de ortosa y biotita. Las rocas dioritas – granodioritas se observa desde el cerro Puite hasta el morro Sama los cerros de la cadena costanera están formados de rocas intrusivas cuya composición varía de diorita a granodiorita, ambos tipos de rocas se encuentran en el campo pasando gradualmente del uno al otro sin ofrecer contactos netos, presentando así una distribución muy irregular.

Cuadro N° 19  
Resumen de características geológicas del acuífero Sama

TIEMPO - ESTRATIGRAFÍA				TIPO DE ACUÍFERO	CARÁCTER HIDROGEOLÓGICO	COMPOSICIÓN LITOLÓGICA
ERATEMA	SISTEMA	SERIE	FORMACIÓN			
Mesozoico	Jurásico	inferior	Volcánico Chololate		Basamento Impermeable	Brechas, andesitas, porfiríticas, afaníticas, derrames, andesíticos
Mesozoico	Jurásico	superior	Guaneros		Basamento Impermeable	Areniscas, caliza
Mesozoico	Cretáceo Terciario	Superior	Toquepala		Basamento Impermeable	Andesíticos
Cenozoico	Terciario	Superior	Moquegua		Basamento Impermeable	Arcillas, areniscas, conglomerados
Cenozoico	Terciario	Superior	Huaylillas		No aprovechable	Tufos, blancos, riolíticos, dacíticos
Cenozoico	Cuaternario	Pleistoceno	Depósitos de Yeso		No aprovechable	Yesos
Cenozoico	Cuaternario		Cenizas Volcánica		Mat. de Cobertura	Cenizas, volcánicas
Cenozoico	Cuaternario	Pleist. - Reciente	Depósitos Aluviales	Libre	Acuif. Aprovechable	Arenas, gravas, arcillas y cantos rodados
Cenozoico	Cuaternario	Reciente	Depósitos eólicos		Mat. de Cobertura	Arenas
Cenozoico	Cuaternario	Reciente	Depósitos Marinos		Mat. de Cobertura	Conglomerados con lentes de arenas
Mesozoico	Cretáceo Terciario	Inferior	Rocas Intrusivas		Basamento Impermeable	Dioritas granodioritas.

## b) Hidrogeología

El acuífero presenta dimensiones variadas; así en el valle (parte cultivable), en los sectores Sama Grande y Poquera, el ancho del acuífero fluctúa entre 1,300 y 1,500 m; mientras que en los sectores Buena Vista, Los Pinos y Para oscila entre 2,000 y 2,250 m. Finalmente en los sectores Cuilona, Haras Capulí y El Golpe, las dimensiones se reducen de 1,200 a 500 m.

En las pampas aledañas, el acuífero presenta dimensiones mayores a los descritos anteriormente, así en la margen derecha del río en los sectores Proter, Lomas de Sama, Pampa El Arrojadero, Pampa Cerro del Medio y Las Yaras Pueblo las dimensiones varían de 20 000 a 22 000 m; mientras que en los sectores Pampa Pie de Candela y Quebrada Honda fluctúa entre 11 500 y 12 000 m.

En la margen izquierda, en los sectores Pampa del Pedregal y Asociación de Agricultores las dimensiones del acuífero varían de 9 000 a 10 000 m; mientras que en los sectores Quebrada Las Brujas, Quebrada Los Molles, Asociación San Martín de Porres y Asociación de Agricultores El Camaleón se ensancha variando entre 25 000 y 30 000 m.

El acuífero está constituido principalmente por sedimentos aluviales y en forma secundaria por fluviales y eólicos todos del cuaternario reciente. Litológicamente está conformado por cantos, cenizas, guijarros, gravas, arenas, arcillas y limos entremezclados en diferentes proporciones formando horizontes de espesores variables, que se presentan en forma alternada en sentido vertical. Por otro lado, debe indicarse que los sedimentos aluviales tienen amplia distribución en el valle (parte cultivable), tal como se observa en las localidades de Sama Grande, Poquera y Los Pinos entre otros.

La planicie costanera o de acumulación es de pendiente suave y se ve interrumpida por algunos afloramientos de diversas formaciones que antes formaban una sola montaña.

La morfología de la napa es relativamente uniforme, observándose que el desplazamiento del flujo subterráneo tiene una trayectoria principal de noreste a suroeste, y su gradiente hidráulica varía de 0,82 a 2,22 %; puntualmente llega hasta 2,96 % (Sama Grande – Inclán). En el área investigada los niveles más superficiales se encuentran en los sectores Haras de Capulí (zona II) y Tomasiri Bajo (zona I); donde los niveles fluctúan entre 0,83 y 1,54 – 2,23 m respectivamente, mientras que los niveles más profundos, se ubican entre 12,86 y 14,83 m de profundidad, encontrándose niveles de 20,94 m hasta 39,07 m en el sector Asociación de Damnificados Nueva Sama, de la margen izquierda de la Pampa Sama (Zona II).

En el área de estudio no se han ejecutado pruebas de bombeo, debido a que los pozos en su mayoría se encuentran no operativos y no reúnen las condiciones técnicas para realizar dicha evaluación.

### 4.1.17 CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA E HIDROGEOLÓGICA DEL ACUÍFERO CAPLINA

#### a) Geología

Las formaciones geológicas que comprende el área de estudio son las siguientes:

##### Volcánico Chocolate (Ji-vch)

Es una serie de derrames traquíticos y andesíticos con algunas intercalaciones de lutitas, areniscas y arrecifes coralígenos, cerca del borde litoral del cuadrángulo La Yarada y Tacna. Esta serie volcánica infrayace a la formación Guaneros, que por su similitud litológica con el volcánico Chocolate de Arequipa lo consideramos correlacionable. Litológicamente está conformado por derrames y piroclásticos de composición predominante andesítica. La edad del volcánico Chocolate corresponde al Jurásico Inferior a base del estudio de dos géneros de corales (Oppelismilia y Astrocoenia) hallados en los arrecifes calcáreos de la cantera de Choco.

### **Formación San Francisco (Jm-sf)**

Esta unidad litológica consiste en algunos centenares de metros de areniscas, lutitas y calizas que infrayacen al grupo Yura. La edad de esta formación se relaciona con los sedimentos del bajociano (aflora mayormente entre Pachía y Palca) y las calizas de la formación Socosani de Arequipa.

### **Formación Guaneros (Js-g)**

Litológicamente la formación Guaneros está constituida por areniscas y lutitas calcáreas, derrames volcánicos andesíticos y lechos de lutitas fosilíferas. Infrayace en discordancia a los clásticos continentales de la formación Moquegua y en algunos casos, cubierta por depósitos cuaternarios.

### **Grupo Yura (Ki-yu)**

En la parte media del valle específicamente en el sector Pachía, se encuentran afloramientos de una gruesa unidad de cuarcitas, areniscas y lutitas de espesor variable y que es correlacionable con la formación Yura. Por otro lado, este grupo, está conformado por dos formaciones mapeables en el valle Caplina, La Ataspaca conformada por areniscas y lutitas que se exponen en su parte inferior y una parte superior, que corresponden a la formación Chachacumane constituido por cuarcitas blancas, éstos afloramientos se encuentran entre Calientes y Challatita.

### **Formación Moquegua (Ts-mo)**

Son depósitos continentales que consisten en una secuencia de areniscas tufáceas, lutitas, areniscas arcóscas y conglomerados irregularmente estratificados. En el sector de Tacna, Magollo y Quebrada Garita, esta formación está conformada por arenas gris azulado intercalado con arcilla beige, hacia el techo se presentan conglomerados intercalados con tufos redepositados. Esta formación es permeable en los estratos superiores. La edad de la formación Moquegua corresponde al terciario superior, y probablemente al Mioceno y Plioceno inferior.

### **Formación Huaylillas (Ts-vhu)**

Formación compuesta por tufos volcánicos, que yacen en discordancia sobre la formación Moquegua. Afloran principalmente en las quebradas Viñani, Espíritus, Escritos y Cauñani. La edad de la formación Huaylillas, como se sabe yace en discordancia sobre la formación Moquegua del Mioceno y Plioceno inferior, basándose en éstas relaciones estratigráficas consideramos a la formación Huaylillas del área de Tacna como de edad plioceno inferior a medio.

### **Depósitos de Cenizas Volcánicas (Qpl-c)**

Ciertas zonas entre Pachía-Palca contienen depósitos de cenizas y tufos volcánicos que forman un manto delgado y discontinuo encima de las terrazas y depósitos de pie de monte. En la parte media del valle Caplina, las cenizas se encuentran como fajas angostas a lo largo del valle y aproximadamente a 50 m sobre el nivel del río. Litológicamente, la ceniza volcánica es un polvo suelto de color blanco o rosado con fragmentos de pómez blanco y cristallitos de cuarzo.

Estos depósitos carecen completamente de estratificación y se presentan como una masa homogénea sin estructura, pero a cierta distancia debajo de la superficie, éstos se encuentran más compactos y con la textura de un tufo. Las cenizas sobreyacen a terrazas aluviales y depósitos de pie de monte, los cuales probablemente son más o menos contemporáneos con los depósitos fluvio-glaciares.

### **Depósitos de Aluvión (Q-alv)**

Bajo esta denominación se describen a los depósitos de terrazas fluviales, de pie de monte y los depósitos de derrumbe.

#### **- Terrazas fluviales**

Consiste en conglomerados de cantos redondeados con una matriz bastante escasa de arena y lodo. Los cantos representan toda la variedad litológica de las unidades encontradas en la región, desde el gneis hasta los volcánicos jóvenes.

#### - Depósitos de pie de monte

Consiste en conglomerados, grava y arena con litología parecida a las terrazas fluviales. Las pampas tienen un perfil de bajo relieve que no favorecen una completa exposición de toda la sección de éstos depósitos de pie de monte, no habiéndose podido observar secciones de más de 10m de grosor, sin embargo los pozos perforados en Tacna y La Yarada, indica que éstos depósitos tienen grosor mayor de 100m y sobreyacen a tufos de la formación Huaylillas.

#### - Depósitos de derrumbes

Existen lugares donde la superficie está cubierta por depósitos que resultan del derrumbamiento de la formación Huaylillas y depósitos de la formación Moquegua.

### Depósitos Aluviales (Q-al)

Como resultado de la geofísica, estos depósitos constituyen principalmente los horizontes permeables y explotables de agua subterránea. están conformados por conglomerados, arenas y arcillas que se intercalan irregularmente. Los conglomerados conformados principalmente por cantos de forma redondeada hasta subangular son de diferentes tipos de rocas volcánicas y en menor proporción, de rocas intrusivas, con dimensiones mayormente de 10 a 20 cm.

En el cuadrángulo de Tacna estos depósitos constituyen el cono de deyección del río Caplina y sus tributarios. Estos depósitos de acuerdo a la prospección geofísica alcanzan espesores hasta de 446 m (entre Yarada Alta y Asentamiento N° 3). Los depósitos aluviales están ubicados a lo largo del valle, constituyendo terrazas aluviales (Q-t0) (Q-t1) (Q-t1) y formando el lecho actual o cauce mayor. Ver Mapa N° 18.

### Depósitos Eólicos (Q-e)

Son acumulaciones de arena de origen eólico se encuentran en las pampas de La Yarada y Hospicio, formando una delgada cubierta discontinua que alguna veces constituyen dunas y médanos. En el sector de Hospicio hacia el sur, éstas acumulaciones eólicas se presentan formando médanos, los mismos que se prolongan hasta territorio chileno.

### Depósitos Marinos (Q-m)

Estos depósitos no tienen mayor incidencia en la hidrogeología del área, debido principalmente a su carácter marginal y por constituir una franja de arenas y cantos muy angosta, la cual se encuentra distribuida a lo largo del litoral, y que está relacionada a escarpas litorales emergidas.

En el valle Caplina, se ha encontrado terrazas marinas de 0,50 a 1,00 m y hasta 16 Km de longitud, observándose en superficie abundantes restos de conchas y costras de sal.

## ROCAS INTRUSIVAS.

### Rocas intrusivas ( Kti-di, Kti-gd)

Rocas bastante comunes entre Pachía y Palca, siendo los intrusivos más importantes los batolitos de granodiorita, aunque existen pequeños “stocks” de monzonita, diorita y algunos diques o chimeneas de riolita. En el cuadrángulo de La Yarada y Tacna, no existen mayores afloramientos de estas rocas, se encuentra mayormente expuesta, en los cuadrángulos vecinos de Locumba e Ilo, al norte del área estudiada.

La edad del batolito andino en general por su relación con las rocas sedimentarias de edad conocida, data del cretáceo superior y terciario inferior; por este hecho; se considera al intrusivo de La Yarada, de la misma edad que el Batolito.

mapa 18

Cuadro N° 20  
Resumen de características geológicas del acuífero Caplina

TIEMPO - ESTRATIGRAFÍA				TIPO DE ACUÍFERO	CARÁCTER HIDROGEOLOGICO	COMPOSICIÓN LITOLÓGICA
ERATEMA	SISTEMA	SERIE	FORMACIÓN			
Mesozoico	Jurásico	Inferior	Volcánico chocolate		Basamento Impermeable	Tranquíticos, andesíticos, lutitas, areniscas, derrames, andesítica
Mesozoico	Jurásico	Medio	Formación San francisco		Basamento Impermeable	Areniscas, lutitas, calizás
Mesozoico	Jurásico	Superior	Formación Guaneros		Basamento Impermeable	Areniscas, lutitas, calcáreas, volcánicos, andesíticos, fosilíferas
Mesozoico	Cretáceo	Inferior	Grupo Yura		Basamento Impermeable	Cuarcitas, areniscas y lutitas
Cenozoico	Terciario	Superior	Formación Moquegua		Basamento Impermeable	Areniscas, tufaceas, lutitas, areniscas, arcosicas, conglomerados
Cenozoico	Terciario	Superior	Formación Huaylillas		Mat. de Cobertura	Cuarcita, arenicas ,lutitas
Cenozoico	Cuaternario	Antiguo	Depósitos de cenizas volcánicas		Mat. de Cobertura	Cenizas y tufos, volcánicas
Cenozoico	Cuaternario	Pleist. A Reciente	Depósitos de aluvión		No aprovechable	Conglomerados, arena
Cenozoico	Cuaternario	Pleist. A Reciente	Depósito aluviales	Libre	Acuif.Aprovechable	Conglomdos.,arena,arcillas en terrazas,aluviales
Cenozoico	Cuaternario	Reciente	Depósitos eólicos		Mat. de Cobertura	Arenas
Cenozoico	Cuaternario	Reciente	Depósitos marinos		Mat. de Cobertura	Arenas y cantos
Mesozoico	Cretáceo Terciario	Inferior	Rocas Intrusivas		Basamento Impermeable	Dioritas granodioritas.

## b) Hidrogeología

El acuífero del valle Caplina entre Pachía y Tacna, tiene la forma de un polígono rectangular de fondo plano y con flancos escarpados y abruptos, aguas abajo, el cono deyectivo del río Caplina constituye una unidad fisiográfica que se inicia en la garganta de Magollo, y se ensancha progresivamente hacia abajo en forma de delta hasta alcanzar la línea de playa.

En los sectores El Chasqui, Yarada Baja -Las Palmeras, Los Palos, Pueblo Libre y Santa Rosa, este abanico aluvial ha sido formado por el río Caplina con aporte de las quebradas Uchusuma, Honda, Viñani, La Garita y Las Salinas.

El acuífero está delimitado desde Calientes hasta la línea de playa en sentido noreste a suroeste por afloramientos rocosos con incipiente cobertura eólica, también por depósitos de cenizas volcánicas (parte superior). La delimitación también abarca la parte baja de la quebrada Uchusuma, Cauñani, Espíritus y Escritos.

El límite vertical, ha sido dado por la prospección geofísica, investigación que se ha realizado hasta los 650 metros de profundidad, cuyo resultado permite determinar la morfología del techo del basamento impermeable (uno rocoso y duro y el otro arcilloso).

El acuífero estudiado presenta dimensiones variables, así entre Magollo y Miculla presenta un ancho entre 2000 y 6000m, incrementándose notablemente entre los sectores El Chasqui, Yarada Baja-Las Palmeras, Rancho Grande, Los Palos, Pueblo Libre y Santa Rosa donde fluctúa entre 30000 m y 32000 m; mientras que entre el sector Hospicio y cerca a los cerros de La Yarada varía entre 25000 m y 30000 m. En las quebradas Uchusuma, Viñani, La Garita, Las Salinas y Escritos forman estrechos de forma alargada y de dimensiones variables.

La litología del acuífero está constituida principalmente por rellenos aluviales de edad cuaternaria. Litológicamente está conformado por gravas, arenas finas a gruesas, cantos que varían de redondeados a subredondeados; limos y arcillas, todos de carácter típicamente fluvial. Hacia los sectores noroeste y sureste, los sedimentos provienen principalmente de las formaciones Huaylillas y Moquegua, que por efecto del viento, las arenas sufren movimientos y llegan a conformar parte del acuífero.

La napa contenida en el acuífero es libre, tiene como fuentes principales de alimentación, las filtraciones de agua que se producen en el río Caplina, canal Uchusuma y los aportes de agua según ocurrencia de lluvias de las quebradas de Palca, Vilavilani, Viñani, Cauñani, Espiritus y Qda. Honda, que discurren e infiltran en el valle y las pampas de La Yarada. Por otro lado se tiene infiltración de agua que se produce en la zona húmeda, parte alta de la cuenca; a través de fracturas o fallas de rocas, pasando posteriormente a los materiales clásticos de los depósitos cuaternarios.

En las zonas I, II, III y IV, el flujo subterráneo mayormente presenta una orientación de noreste a suroeste fluctuando su gradiente hidráulica entre 0,18 % (zona IV) y 2,22 % (zona I). En ciertos sectores de la zona III (Yarada Antigua) como La Esperanza, San Antonio y Boca del Río, el sentido del flujo subterráneo se invierte y tiene una dirección del mar hacia tierra adentro (suroeste a noreste), observándose además cotas del agua negativas, lo cual es producto de la explotación intensa en ese sector, ocasionando el fenómeno de intrusión marina.

En el área de estudio, los niveles de agua se ubican entre 1,29 m y 112,80 m de profundidad, observándose los niveles mas superficiales (1,29 – 10,02 m) en los sectores El Chasqui-Yarada Baja -Las Palmeras, Rancho Grande, Pueblo Libre, Santa Rosa y parte de Los Palos, mientras que los niveles más profundos (19,92 – 112,80 m) en los sectores Los Palos y Hospicio respectivamente.

En el área de estudio se han ejecutado veinticinco (25) pruebas de bombeo, cuyo resultado (parámetros hidráulicos) permite indicar que el acuífero es libre y, presenta de aceptables a buenas condiciones hidráulicas.

Los radios de influencia para bombeos de 8 a 24 horas fluctúan entre 55,77 m y 490,18 m respectivamente, aunque se ha observado en varios sectores de la Yarada Antigua, como La Esperanza, Los Olivos, El Progreso, Fundo Chico y en la zona IV, en los sectores Los Palos, Balneario y Santa Rosa la proliferación de pozos sin la distancia adecuada, lo cual está produciendo la interferencia de pozos.

## 4.2 RECARGA ARTIFICIAL INDUCIDA - VALLE DEL RIO RIMAC

### 4.2.1 Antecedentes y Objetivo

Debido a que el acuífero del Rímac entró en estado de desequilibrio debido a que la extracción del agua subterránea supera a la recarga natural, SEDAPAL emprendió proyectos para lograr la recuperación progresiva de las reservas explotables mediante:

- a) La recarga artificial inducida en el valle del Rímac.
- b) El uso conjuntivo de aguas subterráneas y superficiales
- c) Restricción de la Extracción de Aguas subterráneas
- d) El reemplazo de fuentes de aguas subterráneas por superficiales, en sectores críticos por problemas de sobre explotación y/o deterioro de su calidad.

En el presente caso se expone la experiencia de la recarga artificial inducida en el valle del Río Rímac en un tramo experimental de 6 Km a lo largo del referido río.

Se aprovecha la existencia de excedentes de agua de escorrentía superficial en millones de m<sup>3</sup> que se pierden en el mar en periodos de las épocas de lluvias (SEDAPAL en su informe estima que son 400 millones de m<sup>3</sup>/año de pérdida), por lo que se consideró necesario su aprovechamiento a través del proyecto de recarga artificial inducida.

El tratamiento para mejorar las condiciones de infiltración del lecho del río lo realizó SEDAPAL en el tramo de 6 Km, entre la Atarjea y el puente de Huachipa a Chosica, acompañado de la construcción y equipamiento de pozos con el doble objetivo de extraer el agua para su aprovechamiento y el de crear las condiciones necesarias de vaciado parcial del Acuífero y para dar lugar a la suficiente gradiente hidráulica entre el Río y el nivel piezométrico y tener la inmediata realimentación del acuífero, sin afectar las reservas existentes. La ubicación del área Piloto y la distribución de los pozos de extracción recarga se muestra en el Plano de Ubicación de Pozos Proyectados de la Lámina N° 19.

En el estudio "Tratamiento del Cauce del Río Rímac Para la Recarga del Acuífero y conducción en Periodo de Estiaje", realizado por la Asociación Luis Basurco Bouchan- Guillermo Maish Molina, asesorados por el Ing. Ernesto Maish G. se determinó que en el tramo de Huampaní la Atarjea (22 Km) se puede aprovechar unos 5m<sup>3</sup>/s o 155 millones de m<sup>3</sup>/año de la masa que en la actualidad se pierde indefectiblemente en el mar.

La implementación del proyecto piloto en 6 Km en el río Rímac, agua arriba de la Atarjea, es permanentemente monitoreado por el Equipo de Aguas Subterráneas de SEDAPAL.

### 4.2.2 Actividades para evaluación del proyecto piloto

Estas actividades son las siguientes:

- Construcción de 19 Piezómetros de 50 a 100 m de profundidad y 8" de diámetro, para control piezométrico, calidad del Agua y determinar parámetros hidráulicos a través de bombeos de prueba.
- Evaluar las condiciones Hidrogeológicas, que comprende la definición de los factores que intervienen en la alimentación y circulación de aguas subterráneas así como en la variación de sus reservas.
- Monitoreo del comportamiento del nivel de la napa en 19 piezómetros y otros pozos representativos.
- Pruebas de Acuífero, para determinar parámetros Hidráulicos del Acuífero.
- Pruebas de rendimiento de los 30 pozos de extracción – Recarga del Proyecto Piloto.
- Muestreo y análisis de Agua.

Lámina N° 19

### 4.2.3 Infraestructura de recarga del proyecto piloto

Para la Recarga Artificial se ha implementado con las siguientes estructuras:

#### a) Pantallas Transversales

Para mejor distribución del flujo superficial a lo ancho variable de 150m del lecho del cauce e incrementar la capacidad de infiltración en 6 Km de longitud, se construyó 60 pantallas transversales a su eje de 1.20m de ancho y 3 a 3.5m de profundidad, distanciados a 100m entre sí.

Las pantallas se distribuyen de la siguiente forma:

- 1º Tramo de 1Km (10 pantallas) : 1995
- 2º Tramo de 5km (50 pantallas) : Entre Abril y Noviembre 1997.

En la actualidad gran parte de las pantallas están cubiertas por material detrítico de colmatación.

Y también están siendo destruidas por el efecto de atrición de las partículas y/o fragmentos de arrastre por el agua en las épocas de crecida del río.

En previsión SEDAPAL realiza en periodos anuales de alrededor de 5 años la limpieza del cauce por tramos lo cual según manifiestan es de elevado costo.

#### b) Pozos de Extracción- Recarga

Existen 30 pozos tubulares construidos especialmente para el proyecto de extracción recarga 12 de los cuales se encuentran en la margen izquierda distanciados entre sí a 300m en dos líneas de 6 pozos cada una construidos en 1990 puestos en operación en 1993 su capacidad de producción es de 550 l/s; y 18 pozos sobre la margen derecha distanciado también a 300m entre sí en una línea (construidos en 1992 a 1993 y puestos en operación en 1994 y 1995, su capacidad de producción es de 910 l/s. La composición granulométrica de la zona de recarga se muestra referencialmente en el perfil litológico de la Figuras Anexo II.

#### c) Pozos De Monitoreo

Se han construido 19 Pozos de monitoreo de 50 a 100m de profundidad y 8” de diámetro. Su diseño permite:

- Realizar medidas del nivel de la napa manualmente y a través de limnigrafos mecánicos y electrónicos.
- Muestreo de agua para su análisis y Pruebas de acuífero para determinar parámetros hidráulicos, evaluar el comportamiento del nivel de la napa sometida a diferentes condiciones de extracción recarga, la calidad de sus aguas y determinar los volúmenes de agua que se recarga.

### 4.2.4 Características hidrogeológicas del acuífero

#### a) El Reservorio Acuífero

El Acuífero es libre, siendo su alimentación a través del lecho del río.

#### b) Profundidad del Nivel de la Napa.

En carta de Isoprofundidad de la napa (Marzo 1999) el nivel de agua varia de Norte a Sur, según se aleja del lecho del río de 10 a 50m. Sobre la margen derecha en el sector comprendido entre el Puente Huachipa y los

Cerros Pedreros la profundidad de la napa disminuye en dirección del flujo subterráneo Este a Oeste desde 30 a 5m, atribuible a represamiento por la presencia de cerros.

la profundidad del nivel de la napa en el área del lecho del río indica que la napa se encuentra descolgada y desconectada del flujo superficial. La distancia vertical de desconexión fluctúa de 5 a 10m a lo largo del cauce. Esta desconexión hidráulica disminuye la efectividad de la recarga por inducción durante el bombeo de los pozos de extracción recarga ubicados en ambas márgenes del río, debido a que sus conos de depresión no interceptan directamente al flujo de agua Superficial.

### **c) Evolución del Nivel de la Napa**

La evolución del nivel de la napa en el Área Piloto de Recarga Artificial Inducida se ha registrado en 19 piezómetros o pozos de monitoreo localizados convenientemente sobre ambas márgenes del río.

Hasta marzo 1995 el nivel de la napa se encontraba a 7m de profundidad, a partir del cual se observa un descenso del nivel de la napa tanto por la disminución de la alimentación del río como por la puesta en operación progresiva de los 18 pozos de extracción recarga de la margen derecha. El nivel de Agua descendió hasta cerca de los 12m de profundidad en Diciembre 1995, a partir del cual se observa un comportamiento cíclico de ascensos y descensos del nivel de la napa coincidiendo aproximadamente con los periodos de avenidas y de estiajes del río, su fuente principal de alimentación.

En general se observa que las descargas máximas y mínimas del río fueron similares entre 1995 y 1997, incrementándose en 1998 y 1999, Simultáneamente se observa que cada año la máxima recuperación del nivel de la napa registrado entre 1996 y 1998 es similar alcanzando los 8m de profundidad aproximadamente. En cambio en 1999 se ha producido un mayor incremento en la recuperación del nivel de la napa lo que puede ser atribuible principalmente a las mayores descargas de río con relación a los años anteriores.

Una mínima proporción podría corresponder a la contribución de las pantallas transversales construidas en el lecho del río. Debido probablemente a que dichas pantallas quedan totalmente enterradas por el considerable transporte de sedimentos del río, se ha observado similar comportamiento en el nivel de la napa antes y después de la construcción de las pantallas.

Con el control del Piezómetro N°5 ubicado en proximidades del lecho del río, sobre su margen derecha. se observan recuperaciones del nivel de la napa de un poco más de 3m; mientras que en los piezómetros más alejados (16, 17, 18 y 19) las recuperaciones no sobrepasan de los 2m.

En general se observa que las mayores variaciones del nivel de la napa se producen actualmente sobre la margen izquierda del río, en el sector de mayor concentración de pozos de extracción recarga (12 pozos en dos líneas de 6 c/u). Las menores variaciones se producen en la margen derecha del río, en donde los 18 pozos de extracción recarga se encuentran en una sola línea.

#### **Hidráulica Subterránea**

En controles durante el periodo (1989 - 1999). En la margen derecha el valor promedio de la Transmisividad corresponde a  $2,02 \times 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$ , y el valor promedio de la permeabilidad es de  $3,76 \times 10^{-4} \text{ m/s}$ .

En la margen izquierda el valor promedio de la transmisividad corresponde a  $1,19 \times 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$ , y el valor promedio de la permeabilidad es de  $1,91 \times 10^{-4} \text{ m/s}$ .

En ambos casos los valores son representativos de acuíferos de excelentes condiciones hidráulicas para la circulación, alimentación y extracción de las aguas subterráneas.

Con respecto al Coeficiente de Almacenamiento, el valor representativo que se ha determinado a través de pruebas de acuífero realizado en el pozo 459 y su piezómetro N° 1 es de 15%.

La explotación de la napa en ambos márgenes del río es de 4,22 MMC/mes (2,34 en el margen derecho y 1,88 en el margen izquierdo), equivalente a una explotación continuada de 1,63 m<sup>3</sup>/s que se realiza a través de 62 pozos tubulares (30 en el margen derecho y 32 en el izquierdo) y 12 pozos a tajo abierto.

#### **d) Calidad del Agua**

Se ha considerado como indicador a la Conductividad Eléctrica, la cual indica el grado de concentración de la salinidad global en el agua. Para el efecto se midió en el campo la Conductividad Eléctrica del agua de pozos representativos.

La conductividad eléctrica en ambos márgenes del río Rímac, son representativos de aguas con baja a moderada concentración salina. El incremento de dicha concentración se produce según se aleja del lecho del río.

De los análisis de agua se aprecia que en general la potabilidad del agua se encuentra dentro de los límites permisibles.

### **4.2.5 Evaluación de la recarga inducida**

#### **a) Conceptos Generales**

La recarga artificial inducida consiste en provocar un gradiente hidráulico entre los niveles de agua superficial y subterránea para atraer el agua del río hacia el acuífero, lo cual se logra a través del bombeo de pozos de extracción – recarga situados en proximidades del lecho del río.

Para el funcionamiento de este sistema es necesario la existencia de una perfecta conexión hidráulica entre el río y la napa acuífera, lo cual se presenta cuando existe agua en el lecho del río y el nivel de la napa se encuentre próximo al fondo del lecho del río. En periodos de sequía no existe conexión hidráulica ni recarga inducida.

Cuando el nivel de la napa se encuentra muy por debajo del lecho del río, aun en periodos de avenidas, no existe conexión hidráulica directa entre la napa acuífera y la masa de agua del río, por lo que la conexión se produce con las filtraciones que se producen por debajo del lecho del río. En este caso la recarga inducida tiene menor efectividad que en el caso anterior, pudiendo ser nulo si la distancia entre el lecho del río y el nivel de la napa es demasiado grande.

En el periodo de estiaje no se produce recarga artificial inducida. En un programa de recarga artificial inducida los pozos deben funcionar solamente en periodos de avenidas.

#### **b) Caso Proyecto Piloto Valle del Río Rímac.**

El Proyecto de recarga inducida fue conceptualizado cuando el nivel de la napa se encontraba a escasa profundidad de la superficie del suelo, encontrándose el acuífero completamente saturado, por lo que en periodos de avenidas no se producía ninguna recarga, perdiéndose en el mar los excedentes del agua del río.

Sin embargo debido al proceso de sobre explotación a que está sometido el acuífero del Rímac el nivel de la napa está por debajo del lecho del río entre 5 y 10m de profundidad, por lo que la recarga inducida en estas condiciones se produce desde las filtraciones del lecho del río con resultados menos favorables que en el caso de conexión hidráulica directa.

En cuanto al régimen de bombeo de los pozos de extracción - recarga del proyecto piloto se señala que estos debido al déficit de agua en nuestra ciudad los 30 pozos de extracción recarga han venido funcionando durante todos los días del año. Sin embargo debido a la construcción de la estación de rebombeo de agua de la Planta de la Atarjea hacia el Distrito de la Molina, 10 de los 12 pozos de extracción recarga de la margen izquierda se paralizan temporalmente como parte del programa de uso conjuntivo, lo que se ha estado produciendo principalmente en épocas de avenidas.

#### - Monitoreo

Se miden periódicamente los niveles de agua en los 19 piezómetros y en los 30 pozos de extracción recarga para la elaboración de hidrogramas y cartas de: hidroisohipsas, isoprofundidad y recuperación del nivel de la napa.

#### - Calculo de la Recarga Artificial

Con la información de niveles máximos y mínimos de la napa registrados en los 19 pozos de monitoreo y los 30 pozos de extracción recarga del Proyecto Piloto se conoce que la distribución de la recuperación del nivel de la napa que se ha producido entre octubre 1998 y marzo 1999 por efecto de la recarga inducida. Basado en esta carta y la utilización de la expresión que se presenta a continuación se ha calculado el volumen de agua que se almacena en el acuífero en el referido periodo.

$$V = A \Delta h S$$

Donde:

V (m<sup>3</sup>) = Volumen recargado

A (m<sup>2</sup>) = Área de influencia de recarga o l x a (largo por ancho)

Δh (m) = Recuperación nivel de la napa

S (%) = Coeficiente de almacenamiento (15%, determinado en base a la prueba de acuífero realizado en el Pozo 459 y su Piezómetro Pz – 1).

Efectuados los cálculos respectivos se ha determinado que entre Octubre 1998 y Marzo 1999 el volumen de agua que se ha recargado en el área de influencia del Proyecto Piloto fue de aproximadamente 4.12 MMC.

En el análisis de la recarga artificial inducida del Proyecto Piloto se han diferenciado tres sectores de características diferentes.

Sector A: Se encuentra sobre la margen izquierda del Rio Rímac, dentro del área de influencia de los 12 pozos de extracción recarga, entre la pantalla N° 1 y la N° 29 con una longitud de 2,8 Km y una sección de 750m. Aquí se ha producido una recuperación del nivel de la napa entre 5 y 20m lo que representa una recarga de 3,15 MMC en 5 meses.

Sector B: Se extiende sobre la margen izquierda del rio aguas arriba del Sector A, abarcando una longitud de 3200m y un ancho de 750m, entre las pantallas N° 29 y N° 60. En este sector se ha producido una recuperación del nivel de la napa inferior a 1,5m, lo que representa una recarga

Sector C: Esta se encuentra sobre la margen derecha del rio entre la primera y última pantalla ó entre los pozos 633 y 651, extendiéndose sobre una longitud de 6000m y un ancho de 750m. Aquí se ha producido una recuperación del nivel de la napa inferior a 1,5m, lo que representa una recarga de 0,68 MMC en 5 meses.

En perfiles elaborados de las secciones transversales, se aprecia en forma comparativa los niveles de la napa en los periodos de estiaje y de avenidas, resaltándose que la mayor diferencia se observa en la margen izquierda del rio, en donde se ha producido la mayor recarga (3,15 MMC) del periodo Octubre 1998 – Marzo 1999. Esta parte de la sección corresponde al sector (A) descrito anteriormente. En las demás secciones se observa que las

diferencias de niveles entre los periodos de estiaje y de avenidas no son notables y por lo tanto tampoco se han obtenido recargas importantes.

### **c) Análisis De Resultados**

El área de influencia de la recarga se extiende sobre una extensión de 900 ha (6 Km de longitud por 1,5 Km de ancho), 750m aproximadamente hacia ambas márgenes del lecho del río.

En el periodo comprendido entre Octubre 1998 y Marzo 1999, en donde se registro la máxima recuperación del nivel de la napa de los últimos 4 años se ha producido una recarga de 4,12 millones de m<sup>3</sup> (MMC), equivalente al 33 % del volumen de agua (12,3 MMC) que ha sido extraído del acuífero a través de los 30 pozos de extracción recarga durante el mismo periodo.

Del volumen total (4,12 MMC) de agua que se recargó entre Octubre 1998 y marzo 1999, en el sector (A) dentro del área de influencia (210 ha) de los 12 pozos de la margen izquierda distribuidos en 2 líneas se almacenamiento 3,15 MMC (76.5%). Aguas arriba en el sector (B) sobre un área de influencia de 240 has siempre en la margen izquierda se recargo 0,29 MMC (7%), mientras que en la margen derecha en el área de influencia (450 ha) del sector (C) en donde se encuentra el campo de los 18 pozos de extracción recarga distribuidos en una sola línea, se alimentó solamente 0.68 MMC (16,5%).

El volumen que se recarga bajo las condiciones actuales (4,12 MMC) permite una extracción en el periodo de estiaje (abril - diciembre) de unos 235 l/s, a razón de 18 h/d.

Se obtiene mejores resultados con mayor densidad de pozos en proximidades del lecho del río.

#### **4.2.6 Evaluación actual del sistema de recarga artificial**

Se ha observado las pantallas de infiltración, las que se encuentran actualmente cubiertas por agua y el 70% están cubiertas por materiales de colmatación, se ve que la parte superior o bordes de las pantallas están siendo erosionadas por efecto de atrición.

Es muy notorio el arrastre de importantes volúmenes de detritos con fragmentos hasta de 30 cm. Los cuales colmatan rápidamente el área en perjuicio de la correcta funcionalidad para las que se han construido, la sedimentación de finos no es importante debido al alto poder de arrastre de las aguas.

Los materiales que se depositan son del tamaño de arenas, gravas y cantos rodados y mezcla de ellos. Pese a la colmatación la influencia es positiva en el sistema de Recarga, esto es evidente debido a que dan lugar a mayor área mojada evitándose de esta forma la concentración lineal lo cual con la consecuente reducción de área, la pendiente del cauce en esta parte es mayor a 5° por lo que el arrastre de partículas son grandes.

Las pantallas deberían estar 50 cm descubiertas lo cual no se cumple en la práctica, la limpieza la efectúan por sectores, esta parte operativa de mantenimiento al parecer no se cumple debido a que el costo de movimiento del material colmatado es alto, verbalmente existe una versión de que dicho trabajo se realiza por periodos de más o menos 4 años y la inversión es alrededor de 4 Millones de soles. Esta suma es muy referencial.

### 4.3 RECARGA ARTIFICIAL INDUCIDA - VALLE DEL RIO CHILLON

#### 4.3.1 Antecedentes y Objetivo

El presente informe recoge el conjunto de los datos hasta ahora producidos por estudios hidrológicos e hidrogeológicos en la cuenca del Rio Chillón,

Todos los estudios consultados refieren la posibilidad de derivar en algunos meses del año, hasta 2m<sup>3</sup>/s del Rio Chillón sin afectar el consumo actual del sector agrícola en el mismo valle, y a la posibilidad de bombear hasta 1m<sup>3</sup>/s. desde las obras de captación de las aguas subterráneas en el área del valle comprendido entre el puente Punchauca y el puente Osoynik, sin modificar en forma apreciable el régimen hidráulico del acuífero.

La ubicación del área de Recarga y de los Pozos están en la Lámina N° 20.

A efectos de garantizar el abastecimiento de agua al uso potable en el periodo de estiaje, se ha analizado el posible almacenamiento subterráneo con recarga inducida en los periodos de avenida a través de áreas de infiltración a lo largo del cauce del Rio Chillón aguas arriba y debajo de la bocatoma proyectada.

#### 4.3.2 Clima

El clima varía desde el tipo semi-cálido en la costa al tipo polar en los nevados, considerando entre los dos límites variaciones caracterizadas por los escalones altimétricos de la región. El promedio anual de la temperatura registrado en las estaciones cercanas al mar, es de 20°C y en las estaciones del interior es de 13.6°C.

El clima es seco, con presencia constante del sol y de templado a frío de Mayo a Julio. Las lluvias empiezan en Noviembre, con cierta regularidad hasta Diciembre y se intensifican de Enero a Marzo (60mm en la costa hasta 2200msnm y 700mm en la cordillera con altitud que bordea los 4800m).

#### 4.3.3 Geografía

El Rio Chillón tiene su origen en la cordillera de la viuda es naciente en la laguna de Chonta, a 4 800 msnm, y sigue rumbo sudoeste con dirección a la ciudad de Lima. El relieve de la cuenca tiene forma de hoja hidrográfica alargada, de fondo profundo y quebrado, con fuerte pendiente, presenta fisiografía escarpada, cortada por quebradas de alta inclinación y estrechas gargantas. En la parte superior de la cuenca alta se encuentra un gran número de lagunas, que resultan de la pendiente más atenuada, lo que ha permitido el represamiento parcial del escurrimiento superficial y favorecido además por la presencia de nevados.

La cuenca tiene una extensión aproximada de 2 300 Km<sup>2</sup> y se sitúa aproximadamente a la altitud 11°S y longitud 76°W. El sitio de la bocatoma presenta una cota de 350 msnm aproximadamente, y su cuenca de alimentación alcanza los 2 065 Km<sup>2</sup>

El rio Chillón es el curso principal; a lo largo de su curso confluyen flujos de desagüe de quebradas y pequeños tributarios. En su curso superior y medio, tiene pendiente de 5 a 6 % y en su curso inferior, donde el valle empieza a abrirse, la pendiente disminuye a 2%. En este último tramo el río ha formado un cono de deyección, sobre el cual se encuentra la zona agrícola más importante de la cuenca.

Lámina N° 20

### 4.3.4 Hidrología río Chillón

La posibilidad de derivación de agua desde el Río Chillón se basa en la disponibilidad de un caudal “excedente” luego de abastecer el sector agrícola. En el cuadro siguiente se presenta los valores, según el estudio de TAHAL, de los promedios mensuales de tales caudales en la zona de la bocatoma.

Cuadro N° 21  
EXCEDENTES PROMEDIOS MENSUALES (M3/S) DEL RIO CHILLON  
EN LA ZONA DE LA BOCATOMA (POR BIB.I)

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	PROM
1969	1.33	4.21	6.29	4.22	0.07	0.06	0.00	0.00	0.49	0.0	0.00	10.1	2.29
1970	17.29	4.92	4.06	2.94	1.46	0.77	0.09	0.00	0.08	0.23	0.0	2.29	2.87
1971	5.12	8.41	17.0	2.48	0.07	0.06	0.00	0.00	0.14	0.23	0.0	2.98	2.21
1972	6.60	8.22	21.0	8.29	0.92	0.61	0.09	0.00	0.00	0.28	0.00	1.86	4.00
1973	11.21	14.8	16.5	11.7	1.84	1.10	0.20	0.17	0.00	0.68	0.10	7.82	2.29
1974	11.07	17.4	19.7	8.62	1.84	2.27	0.81	0.01	0.92	0.01	0.01	0.00	2.16
1975	1.23	2.21	12.8	2.97	0.87	0.89	0.16	0.00	0.22	0.00	0.04	0.28	1.90
1976	9.42	12.2	12.6	2.44	0.06	0.72	0.24	0.61	0.24	0.0	0.00	0.27	2.28
1977	0.21	6.40	4.81	0.78	0.42	0.02	0.60	0.22	0.00	0.26	0.00	1.12	1.21
1978	2.71	12.0	8.72	2.16	0.12	0.62	2.81	1.26	0.11	0.04	0.02	0.01	2.88
1979	0.00	6.40	18.1	2.00	0.22	0.99	0.75	0.0	0.00	0.14	2.22	0.00	2.80
1980	2.79	4.62	11.8	2.12	0.04	0.94	0.62	0.00	0.48	0.14	0.12	2.14	2.29
1981	2.24	24.8	22.9	6.82	1.27	1.89	0.88	0.02	0.47	0.29	1.19	12.4	6.42
1982	4.20	17.2	10.6	4.92	1.01	1.86	0.76	0.04	0.00	0.21	0.87	2.66	2.69
1983	10.11	4.42	8.25	6.24	1.67	2.11	0.94	0.00	0.00	0.29	0.04	4.22	2.20
1984	7.12	22.0	20.9	10.9	2.29	2.60	1.28	0.08	0.17	0.16	1.19	7.05	6.21
1985	4.28	12.2	16.2	12.9	2.22	2.92	1.52	0.75	1.26	0.69	0.17	2.98	2.24
1986	9.42	11.6	21.8	9.24	2.15	2.92	1.42	0.12	1.12	0.42	0.0	9.22	6.04
1987	10.92	10.4	7.54	1.16	0.28	1.42	0.80	0.01	1.66	0.20	0.90	9.42	2.72
1988	7.22	11.1	8.85	8.49	2.12	2.52	1.07	0.00	0.24	0.57	0.20	2.12	2.91
1989	8.91	14.8	14.4	8.05	2.02	2.79	0.96	0.02	0.22	0.57	0.70	2.94	4.67
1990	2.71	0.24	2.24	0.29	0.00	0.52	0.14	0.00	1.00	0.29	2.21	1.42	0.97
1991	1.20	2.12	17.2	2.82	1.97	2.24	0.82	2.10	0.00	0.20	0.20	1.10	2.79
1992	0.02	1.02	8.27	1.82	0.01	0.16	0.21	0.92	0.00	0.25	0.18	1.44	1.21
1993	2.40	6.64	15.2	8.12	2.72	2.68	4.24	1.17	0.10	0.86	1.04	8.88	4.21
1994	14.88	17.9	27.0	14.2	2.25	4.68	2.16	2.12	0.12	0.66	0.02	6.62	7.92
1995	2.82	2.70	14.8	9.79	2.17	2.92	1.21	1.02	0.00	1.04	0.21	2.14	2.67
Prom.	2.99	9.80	12.7	6.00	1.49	1.68	0.95	0.40	0.26	0.22	0.45	4.20	2.76

### 4.3.5 Aprovechamiento de las aguas superficiales

Los caudales del Río Chillón en la zona de la bocatoma, se evaluó la erogación hídrica mensual igual a 2m<sup>3</sup>/s durante los meses húmedos, desde Diciembre hasta Abril. Este caudal, excedente de la demanda del sector agrícola se deriva directamente del río.

En los meses restantes, entre Mayo y Noviembre, se presume que desde el campo de pozos de producción será posible suministrar el área de servicio un caudal promedio de 1m<sup>3</sup>/s, considerando la posibilidad, debido a la capacidad de producción de los pozos de llegar a un caudal máximo alrededor de 1.3m<sup>3</sup>/s.

A través del “Modelo de simulación” desarrollado en los “Análisis críticos preliminares (Bib. V)” se elaboran 3 de operación siendo posibles diferentes leyes de gestión del sistema hídrico. El modelo ha calculado el déficit mensual utilizando el tiempo de 27 años, del promedio mensual del caudal, no resultando disponibles los valores diarios.

La recarga inducida tiene lugar cuando escurren por el río caudales excedentes de la demanda de agua potable, sin afectar la demanda agrícola en el valle, siempre y cuando el acuífero tenga capacidad para aguas adicionales.

**a) Gestión totalmente vinculada**

Prevé la utilización de las aguas superficiales en el periodo comprendido entre Diciembre y Abril, y en los restantes meses del año de agua subterránea.

En este caso habrá déficit en 22 meses, todos de déficit superficial, en déficit medio en los meses de falta de 1,4 m<sup>3</sup>/s, en promedio de bombeo de 19 hm<sup>3</sup> anuales y en abatimiento máximo del acuífero en el entero periodo de 15 hm<sup>3</sup>.

**b) Gestión parcialmente vinculada**

Prevé la utilización de las aguas superficiales entre Enero y Abril, una mixta en Diciembre y el restante con bombeo.

En este caso habrá déficit en 17 meses, de los cuales 12 serán de los meses húmedos y los otros resultan en Diciembre por insuficiencia de capacidad de bombeo instalada que no alcanza la demanda de 2m<sup>3</sup>/s. El promedio multi-anual de bombeo alcanza los 20hm<sup>3</sup>/año y el acuífero presenta un máximo abatimiento anual de 18hm<sup>3</sup>.

**c) Gestión poco vinculada**

Prevé la utilización mixta en el periodo Diciembre Abril, y el resto del año con bombeo. Los meses de déficit bajan a 10 en los meses de avenidas es decir húmedos, por falta de capacidad de bombeo y con bombeo, de agua en promedio multi-anual en unos 21 millones de m<sup>3</sup>. Debido a algunos periodos secos es posible bombear hasta el máximo absoluto de explotación de acuífero de 27millones de m<sup>3</sup>.

Si es necesario el bombeo de 1m<sup>3</sup>/s. Para 250 días (21hm<sup>3</sup> anuales). Los meses de déficit se incrementan hasta 14.

Al final, considerando que, no resultando disponibles los valores diarios, los valores básicos han sido los caudales excedentes mensuales; se han averiguado estos valores con los caudales de la sección de aforo más cercana a la presa, o sea, la mira del puente Magdalena.

En alrededor del 5% de los casos se notaba que meses con valores promedios más que suficientes para el abastecimiento hídrico (4-5m<sup>3</sup>/s) presentaban en algunos días valores mínimos inferiores a 2m<sup>3</sup>/s.

Esta circunstancia produce que en algunos días (4-5)de los meses húmedos, en algunos años (4-5 en los 27 años históricos), podría ser necesario bombear de los pozos (gestión poco vinculada), si no desea aceptar una falta hídrica por causa de fuerza mayor. El bombeo todavía no puede afectar el acuífero que se recupera rápidamente en los días siguientes.

En el caso que sea necesario reservar una parte de los caudales excedentes para el mantenimiento de flujos mínimos en el rio en los meses húmedos. Los datos estarán modificados siguiendo los valores del modelo de simulación referido en (Bib. V) – cuadro 2.7.

#### 4.3.6 Hidrogeología

Se han realizado anteriormente una serie de estudios hidrogeológicos dirigidos a la definición de las características geométricas y físicas del acuífero comprendido en el cono aluvional, para individualizar sus modalidades de alimentación y de aprovechamiento.

Todos los estudios han sido realizados con el análisis de datos estratigráficos, resultados de investigación geofísica, pruebas de bombeo, análisis físico-químico de aguas superficiales, y subterráneas así como de algunos modelos de simulación: hidrodinámica, comportamiento de la recarga inducida y de la napa del acuífero.

#### a) Las Perforaciones

Todas las perforaciones han sido hechas en formación aluvional con profundidad máxima de 150m sin alcanzar el basamento rocoso impermeable.

La longitud de las perforaciones varía alrededor de 100m (P22, P23) y 150m (P11, P12).

El entubado instalado está conformado por tramos de tubería ciega y filtros de 14” y 15” de tipo “puente trapezoidal” en 12 pozos, y de tipo “ranura continua” en otros 16(ver cuadro 5.1-1 y 5.1-2).

La determinación de la ranura de los filtros ha sido definida a través de análisis granulométricos que han sido realizados en laboratorios a partir de las muestras de material atravesado. La longitud de la columna filtrante instalada en los pozos varía entre 30m y 40m, correspondiéndole un porcentaje variable en el entubado entre el 30 y 40%.

En 24 de los 28 pozos el nivel dinámico no alcanza el nivel de los filtros, encontrándose a una distancia variable sobre este nivel de 0.60 a 31m (P13).

#### b) Morfología de la Napa

Las condiciones hidrogeológicas de la captación del acuífero fueron evaluadas en la fase de “Estudio de factibilidad” sobre la base de investigaciones de geofísica para poder determinar la geometría de la capa aluvional en el tramo del valle del río Chillón a continuación se explica su interpretación.

En la fase operativa los perfiles litológicos elaborados durante las perforaciones han definido con mejor detalle la morfología de la napa.

En el capítulo II del Ap.2 del informe final “Investigaciones geofísicas con fines hidrogeológicos en el valle del río Chillón”, se encuentra el detalle de la prospección con la ejecución de 74 sondeos eléctricos verticales.

El área estudiada muestra una general división del acuífero en dos horizontes principales.

El sector superior presenta en muy pocas secciones de resistividad entre 80 y 100 ohms-m, en gran parte valores entre 100 y 150 ohms-m y en algunos otros valores hasta 240 ohm-m, valores que indican el cruce de un sector con alta permeabilidad o de todos modos, terrenos gruesos saturables en condiciones de llenado de la napa. El espesor de este horizonte llega hacia la profundidad de 80m en el centro de valle.

El sector inferior está caracterizado en la mayor parte del área, por una resistividad menor alrededor de 30ohms-m (permeabilidad baja). En algunos sectores aislados los valores aumentan llegando hasta 55 y 77ohms-m (permeabilidad mediana). También los espesores de este horizonte aumentan desde las orillas del río hacia el centro, como desde la parte baja (120m) hasta el extremo norte del sector.

La unidad impermeable, representada en el basamento rocoso, se encuentra a la mayor profundidad a unos 170m.

En el proceso de perforación, se recogieron muestras cada uno o dos metros para su interpretación geológica. La formación encontrada en todas las perforaciones son depósitos aluviales formados por cantos rodados, grava, arena más o menos fina y unos niveles de arcilla, entre mezclados entre ellos.

La subdivisión así definida durante las investigaciones geofísicas, no se evidencia a través del análisis de las perforaciones.

Las formaciones que pertenecen al mismo complejo, se mezclan una con otra haciendo difícil una clara definición de los acuíferos, que parecen estar formada de un solo material mixto con circulación hídrica difundida.

El espesor del acuífero saturado a partir de los niveles estáticos medidos hacia las bases de los pozos, Varía entre 89 y 143m.

c) Hidráulica Subterránea

Para la definición de comportamiento hidráulico de la napa en el área del proyecto se examinan los resultados de las medidas diferenciales de caudal a lo largo del tramo fluvial entre el puente Larancocha y el de Punchauca y de las pruebas de capacidad efectuadas al final de la perforación de los 28 pozos de producción.

Se han usado para la determinación del comportamiento de la napa en proximidad del río medidas relativas a los flujos superficiales del río chillón realizadas utilizando las estaciones hidrométricas existentes y medidas diferenciales de capacidad a lo largo del curso.

Parece que los datos no se pueden considerar relacionados entre ellos a causa de la distancia y de la calibración (Binnie y Partners, 1991) de las estaciones hidrométricas, (capítulo 3 del volumen principal del informe final del estudio de factibilidad) y de la escasa regularidad de las medidas diferenciales a lo largo del curso (Cuadro 1.4-1, Apendice 1). La serie de datos más completa es la del tramo que está incluido entre Punchauca y el puente Osoynik, donde desde Noviembre de 1996 a Marzo de 1997 se han realizado 6 medidas diferenciales bien relacionales entre ellas.

En este tramo del río se ha comprobado una disminución de caudal lo que demuestra, si las medidas son correctas, una infiltración media del orden de 640 l/s.

La recarga normal del río al acuífero que compete directamente al área según Tahal y de acuerdo con las medidas diferenciales es igual con el periodo estudiado a 17 millones de m<sup>3</sup>/año en este tramo del río al cual se deberán agregar 7 millones de m<sup>3</sup>/ año por infiltración en el área agua arriba entre el puente Larancocha y el Punchauca.

El cálculo de la transmisividad con la ley de Darcy ( $Q = T \times L \times i$ ) en una sección por debajo de 1000 metros (promedio) de ancho en la cual cruzan 24 millones de m<sup>3</sup>/año con un gradiente de napa del 15% o, da en valor de más de  $5 \times 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$ .

Si se usa la misma ecuación para el cálculo de la transmisividad de una sección de arriba correspondiente a la infiltración del tramo fluvial entre el puente Larancocha y el de Punchauca, considerando un ingreso de 7 millones de m<sup>3</sup>/año, y el mismo gradiente de napa y ancho de sección, se obtiene un valor del orden de  $1.5 \times 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$ .

El rendimiento de los pozos se ha determinado con pruebas escalonadas realizadas en los mismos, mientras que los parámetros del acuífero se han determinado mediante pruebas a caudal constante.

En lo que se refiere las características hidráulicas de las formaciones perforadas las pruebas proporcionan valores muy heterogéneos, entre ellos, probablemente por la presencia de niveles litológicos diferentes que mezclan uno con otro. A continuación se facilitan una serie de datos de transmisividad medidos en algunos pozos.

Cuadro N° 22  
Transmisividades del acuífero Chillón

POZO N°	T(m <sup>2</sup> /s) Descenso	T(m <sup>2</sup> /s) Recuperación
13	$2.7 \times 10^{-3}$	$5.0 \times 10^{-3}$
14	$1.4 \times 10^{-2}$	$3.0 \times 10^{-2}$
15	$2.0 \times 10^{-2}$	$1.0 \times 10^{-2}$
17	$4.7 \times 10^{-2}$	$9.3 \times 10^{-2}$
19	$6.1 \times 10^{-3}$	$1.1 \times 10^{-2}$
20	$3.6 \times 10^{-3}$	$5.3 \times 10^{-3}$

#### 4.3.7 Aprovechamiento de las aguas subterráneas

El propósito de una explotación óptima será aprovechar el sistema de aguas superficiales y aguas subterráneas con tomas en la zona ubicada aguas arriba, recargando el acuífero lo suficiente para no variar en lo posible el sistema aguas abajo.

En el modelo considerado como “estático”, realizado por TAHAL durante el “Estudio de factibilidad” para averiguar los parámetros de explotación, infiltración y recarga del sistema entre los pozos y el río, resulta que:

- **Explotación:** Considerando una capacidad media de los diferentes pozos en aproximadamente 150m<sup>3</sup>/h, una cantidad media de 18 millones de m<sup>3</sup> puede ser extraído de 22 pozos que bombearan en forma continua y aproximadamente 22 horas al día; en un periodo de 250 días.
- **Infiltración:** Se han realizado varias pruebas de infiltración y obtenido resultados muy variables entre estos valores depurados estadísticamente han sido escogidos conservadoramente valores de infiltración básica de orden de 0,1 a 0,2m<sup>3</sup>/día/m<sup>2</sup>;
- **Recarga:** El reintegro de los 18 millones de m<sup>3</sup> explotados del acuífero en los 250 días de bombeo, puede realizarse en 100 días utilizando el área total de las lagunas de infiltración de 90ha.

De esta manera, el modelo confirma que en un periodo de 250 días, es posible bombear desde los estratos aluvionales una cantidad media de 18 millones de m<sup>3</sup> y que puede ser reintegrada con una recarga inducida de 100 días.

Un modelo dinámico que tenga en cuenta las condiciones alrededor del acuífero, considera el sistema como abierto al ingreso de agua de infiltración arriba.

En el tramo del río agua arriba de la bocatoma se ha comprobado una infiltración media de 7 millones de m<sup>3</sup>/año.

Calculando el valor de transmisividad en una sección media del río, siguiendo los parámetros del párrafo 5.3, se obtiene un valor del orden de  $1,5 \times 10^{-2} \text{m}^2/\text{s}$ .

Según la simulación efectuada en el estudio por Tahal, (Capítulo II – Planeamiento del proyecto de recarga inducida, par. 2.1), durante el bombeo se obtiene una depresión del nivel del acuífero de unos 35 m y en una sección inmediatamente aguas abajo del área de bombeo donde la transmisividad es igual a  $1 \times 10^{-2} \text{m}^2/\text{s}$ , la napa modifica su morfología para adaptarse a las nuevas condiciones asumiendo una nueva pendiente de aproximadamente 12‰.

Si se calcula el caudal subterráneo en una sección constante de 100m y con los parámetros aquí sobre indicados se obtendría un caudal instantáneo de 0.12m<sup>3</sup>/s, equivalente a 4Mm<sup>3</sup> por año. El cálculo del balance que evidencia el ingreso de 3Mm<sup>3</sup>/año no considerados en el enfoque de un sistema que prevé la recarga inducida solamente a través de los hechos de infiltración.

#### 4.3.8 Evaluaciones sobre el sistema de recarga artificial inducida

A efectos de garantizar el abastecimiento de agua potable para bombear hasta 1m<sup>3</sup>/s desde las obras de captación de las aguas subterráneas en la parte del valle comprendida entre la zona del campo de pozos, sin modificar en forma apreciable el régimen hidráulico del acuífero y sin afectar el consumo actual del sector agrícola en el mismo valle, se ha analizado el posible almacenamiento subterráneo con recarga inducida.

El propósito del proyecto es el arreglo del cauce del río Chillón, aguas arriba y debajo de la derivación directa proyectada, para favorecer la infiltración de un volumen promedio de 18 Mm<sup>3</sup>/año en la temporada de avenidas tratando la cuenca aluvial como reservorio subterráneo de regulación anual.

Como indicado en la simulación del modelado matemático por TAHAL, resulta que esta cantidad de agua se recarga durante aproximadamente 100 días desde un área total de laguna de infiltración de 90ha, con una tasa de infiltración promedio aproximada muy conservadora de 20 cm/día/m<sup>2</sup>.

Para realizar estas lagunas de infiltración hay que adquirir áreas que actualmente están dedicadas a cultivos intensivos.

Como proyecto alternativo se ha estudiado la posibilidad de mejorar las condiciones de infiltración y garantizar la más inmediata realimentación del acuífero, por medio de la realización de las pantallas transversales en el tramo del cauce del río Chillón desde la nueva estructura de derivación y por una longitud aproximada de 6 km.

El objetivo del tratamiento del cauce es obligar al río a fluir con una sección hídrica de 140m de ancho promedio, de modo que ocupe un área lo más cercana posible a las previstas en el modelo matemático con las lagunas de infiltración.

A pesar del trabajo de nivelación, las obras de proyecto en el cauce del río no serán probablemente suficientes para garantizar una distribución uniforme de las aguas sobre toda la superficie de los lechos de infiltración, dado la natural disposición del río a excavar su natural recorrido. Es decir que el real lecho del río no es equivalente en todas las estaciones a la superficie prevista en el modelo matemático.

En base a las pruebas de infiltración realizadas por TAHAL, se ha encontrado una variación del coeficiente de infiltración desde 0,025 hacia 6,749 m<sup>3</sup>/día/m<sup>2</sup> con un valor medio de 0,896 m<sup>3</sup>/día/m<sup>2</sup> (Apen-6, cuadro 6.3-4). Asimismo ordenando los valores de infiltración por debajo de la frecuencia del 15% se tiene que la infiltración media varía entre 0,636 m<sup>3</sup>/día/m<sup>2</sup> y 0,726 m<sup>3</sup>/día/m<sup>2</sup> para una infiltración instantánea y promedio respectivamente (cuadro 6,3-5), correspondiendo una frecuencia del 50% a estos últimos.

Al final de la realización de todos los cálculos de infiltración con fines de recarga se toma un valor 0.40 m<sup>3</sup>/día/m<sup>2</sup> que corresponde a una frecuencia del 60% en donde la infiltración instantánea y infiltración media coinciden con la infiltración básica.

Con el nuevo proyecto de los lechos de infiltración en lugar de las lagunas, SEDAPAL solicita una ampliación de las pruebas de infiltración mas en zonas muy cercanas al lecho del Río Chillón en Osoynik utilizando la misma metodología utilizada, es decir, cilindros infiltómetros espaciados cada 200 m, hacia aguas abajo como hacia aguas arriba del puente Osoynik. En el caso de las pruebas realizadas, la primera capa está constituida por arena gravosa de un espesor de 0.50 m y la capa inferior es grava permeable de 1 m de espesor.

Valores de infiltración base: 3,58, 1,82, 1,28, 1,61, 2,36, 0,84, Prom. 1,86 m<sup>3</sup>/día/m<sup>2</sup>.

De los valores encontrados en las pruebas de infiltración adentro y en áreas cercanas a las zonas aledañas al río, se ha seleccionado aquellos valores por debajo de 3,58 m<sup>3</sup>/día/m<sup>2</sup>, encontrando el promedio de la infiltración pase del río es 1,86m<sup>3</sup>/día/m<sup>2</sup>.

Si las medidas son correctas, se puede considerar suficiente para los cálculos de proyecto un valor de infiltración media muy conservador por debajo del promedio de 1 m<sup>3</sup>/día/m<sup>2</sup>.

En el acuífero del área en estudio la formación encontrada, en todas las perforaciones, está constituida predominantemente por depósitos aluviales formados por cantos rodados, grava, arena más o menos fina y algún nivel de arcilla entremezclados. Los diferentes niveles que pertenecen al mismo conjunto, se mezclan uno con otro ofreciendo un tipo de circulación hídrica difundida y con diferente transmisividad y permeabilidad. La parte superior de la información presenta bajo las investigaciones geofísicas, en la mayoría de los casos, valores de resistividad desde 100 y 150 Ohms-m y hacia 240 Ohms-m, valores que indican el cruce de un sector con alta impermeabilidad o, de todos modos, terrenos gruesos saturables en condiciones de llenado de la napa. El espesor de este horizonte llega hacia la profundidad de 80 m en el centro del valle.

La serie de medidas diferenciales, con molinete, entre Punchauca y el puente Osoynik, desde Noviembre 1996 a Marzo 1997 ha comprobado una disminución de caudal lo que demuestra, si las medidas son correctas, una infiltración media en esta formación del orden de 640 l/s (Apen-1R, Cap.IV). Estas medidas se suponen echas tomando en cuenta las aguas derivadas para el riego (Canal Con-Con: 2000 l/s en Apen-1, Anex-1, Sección VI).

La recarga normal del rio al acuífero que compete directamente al área, según TAHAL y de acuerdo con las medidas diferenciales, es igual por el periodo estudiado a 17 millones de m<sup>3</sup>/año en este tramo de rio, al cual se deberán agregar 7 millones de m<sup>3</sup>/año por infiltración en el área aguas arriba entre el puente Larancocha y el de Punchauca.

La transmisividad calculada con la Ley de Darcy ( $Q = T \times L \times i$ ) por una sección menor de 1000 m (promedio) de ancho en la cual Fluyen 24 millones de m<sup>3</sup>/año con un gradiente de napa del 15%O, resulta mayor de  $5 \times 10^{-2}$  m<sup>2</sup>/s.

Si se usa la misma ecuación para el cálculo de la transmisividad de una sección de aguas arriba correspondiente a la infiltración del tramo fluvial entre el puente Larancocha y el de Punchauca, considerado un ingreso de 7 millones de m<sup>3</sup>/año, y el mismo gradiente de napa y ancho de sección, se obtiene un valor del orden de  $1,5 \times 10^{-2}$  m<sup>2</sup>/s.

Estos valores son comparados a los datos del modelo matemático justificaría el uso de una sola parte del área del rio para destinarla al sistema de recarga inducida con los lechos de infiltración.

Se tiene también que tomar en cuenta que las medidas de permeabilidad pueden referirse solamente a la sección más superficial de la formación, y que durante el tratamiento del cauce se debe prever el monitoreo de la napa con pozos de observación, para comprobar la realidad de las previsiones.

El proyecto de tratamiento del curso del rio prevé el principio de la utilización de lechos de infiltración unos 500 metros aguas arriba de la bocatoma, para acabar a la misma altura del pozo y después la construcción de 42 pantallas.

Sobre la base de ampliación de las pruebas de infiltración en las zonas muy cercanas al lecho del Rio Chillón, se ha averiguado que los valores de la infiltración son alrededor de 1m<sup>3</sup>/día/m<sup>2</sup>, por lo tanto se toma para el proyecto, conservadoramente, el valor 0.4 m<sup>3</sup>/día/m<sup>2</sup>. Si se considera la duración de la estación de avenidas de 120 días, con caudal mínimo de 5 m<sup>3</sup>/s., resulta que con un área del cauce tratada de 80 ha, se obtiene un volumen infiltrado de:

$$\text{Vol} = 0,4 \times 120 \times 800000 = 38,4 \text{ Mm}^3.$$

El solo trabajo de nivelación no es suficiente para garantizar una distribución uniforme de las aguas sobre toda la superficie de los lechos de infiltración, dado la natural disposición del rio a excavarse en su propio recorrido.

Teniendo en cuenta conservadoramente que la superficie cubierta por las aguas después del tratamiento del cauce podría reducirse en el 60%, el volumen de infiltración resulta:

$$\text{Vol} = 0,4 \times 120 \times 480000 = 23,0 \text{ Mm}^3. \text{ Suficiente para recargar el volumen bombeado por los pozos.}$$

Para realizar estas áreas de infiltración y según las indicaciones encontradas en informe Final por TAHAL (Apen-6, Anex-5) deberá efectuarse el acondicionamiento del cauce del rio por movimiento de tierra y relleno de diques de protección de ambas márgenes del Rio Chillón, la construcción de pantallas enterradas en el lecho de rio y la protección, donde sea necesario, de los diques con enrocado contra erosión de agua.

Las pantallas tendrán una profundidad de 2,50 m, espaciadas entre ellas unos 150m; el ancho de las pantallas será de 1m. La longitud de las pantallas estará en función directa con el ancho natural del cauce del rio por ese motivo esta longitud podrá variar entre los 80 y los 200 aprox.

Las pantallas tendrán una longitud media de 135 m y las obras poseerán saltos de modo que se conforme el cauce en estas zonas con una pendiente máxima de 1%.

Como se ha indicado en Apen-6, Anex-5, en el sector de Santa Rosa de Punchauca podría no ser necesario el uso de pantallas y solo el acondicionamiento del terreno para almacenar el agua. En las zonas del cauce donde existen tomas o entregas de agua para el riego, se construirán estructuras apropiadas para preservar las existentes.

Las pantallas serán de concreto ciclópeo con un contenido mínimo de cemento de  $200 \text{ kg/m}^3 + 30\%$  de piedra grande. El último metro superior de pantalla se realizara por medio de un concreto ciclópeo cuyo contenido mínimo de cemento será de  $280 \text{ Kg/m}^3 + 20\%$  de piedra mediana.

Los 0,20 m superiores de la coronación del muro serán enchapados con piedra del rio embebido en el concreto como protección contra la abrasión de la corriente de agua.

Lateralmente al curso se necesitara un dique de encauzamiento. En la ribera del Rio Chillón existen diques de protección de avenidas, que han sido construidos para la protección de los terrenos agrícolas y de algunas viviendas. El proyecto contempla estos encausamientos y los condiciona y aprovecha como parte del mismo con ancho de la coronación de 3 m y taludes de 1.5: 1 en ambos lados.

Donde se necesitara, el lado del talud a contacto con el agua se encuentra protegido con enrocado cuya graduación se encuentra indicada en los planos.

La regulación de la velocidad del rio hace sin embargo presumir que el tiempo de permanencia de las aguas superficiales en los lechos así modificados, incrementara la infiltración en la napa subterránea (cuando esta será más deprimida). El problema mayor es, como ya se encontró en el proyecto de recarga inducida en el Rio Rímac, que en el periodo de las avenidas las pantallas podrían quedar enterradas por el transporte de sedimentos finos, gravas y cantos rodados.

La analogía entre las mismas litología y sección media del rio, hacen pensar que podría repetirse el mismo resultado. En este caso será mejor llevar a cabo un estricto programa de limpieza, nivelación y remoción de los materiales arrastrados por el rio durante el periodo de avenidas y rehacimiento del fondo del cauce con utilización del ripper para remover el estrato de sedimento fino depositado por el rio. El escarificamiento tiene que ser hecho paralelamente al eje del rio para evitar crear surcos que faciliten la deposición de los sedimentos.

El monitoreo de este acondicionamiento estará planificado con una serie de piezómetros a lo largo de toda la superficie del campo de pozos y un pozo de observación arriba la zona de napa disturbada, para confrontar el descenso provocado por el aprovechamiento con el causado por el natural comportamiento de la napa en el periodo de estiaje.

En lo que concierne a las aguas de riego, se necesitan medidas periódicas de los manantiales y de las tomas de los canales de aducción, así como el cálculo de los caudales en concesión, especialmente en el periodo de estiaje (Apen-1, Anex-2). Estos datos permitirán interpretar más correctamente la evolución del nivel de la napa en los piezómetros durante el bombeo y dimensionar la eventual obra de derivación o de captación de los manantiales para las aguas de riego.

#### 4.3.9 Arreglo paisajista

##### a) Propósito

El presente capítulo tiene por objeto definir el paisajismo en los lechos de Infiltración del Proyecto Aprovechamiento Óptimo de las Aguas Superficiales y Subterráneas del río Chillón.

##### b) Alcances

El presente proyecto comprende el diseño del Arreglo Paisajista de los Lechos de Infiltración compuesto por miradores a manera de zonas de estar.

##### c) Documentos de referencia

El Proyecto ha sido elaborado basándose en:

- Criterios de Diseño de Arquitectura.
- Anteproyecto elaborado por el consorcio mismo que fue presentado a Sedapal para la oferta (planos y documentos técnicos)
- Reglamento Nacional de Construcciones (RNC)
- Criterios técnicos y de ingeniería que es práctica común en proyectos de esta índole.

##### d) Desarrollo

Lecho de infiltración.- Se desarrolla a lo largo de casi 6 Km. De cauce de río desde la Bocatoma hacia aguas abajo y cerca a 0.5 Km. Desde la Bocatoma hacia aguas arriba.

e) Paisajismo.- El paisajismo en los Lechos de Infiltración se desarrolla en el tramo de mayor longitud que es desde la Bocatoma hacia aguas abajo. Está compuesto por pequeños miradores espaciados aproximadamente cada 500 m. ubicados sobre el dique de protección proyectado, el que será carrozable.

La ubicación de los miradores coincide con el eje de ubicación de las pantallas del río. Los miradores son espacios abiertos diseñados para la contemplación del paisaje y del cauce del río. Se extienden sobre un área aproximada de 40 m de largo por 3 m de ancho, formalmente forman un arco definido por la vereda de ancho variable siendo el ancho mínimo de 1,0 m.

Se ha planteado un arreglo de jardín con una connotación desértica, utilizando especies de la familia de los cactus y especies nativas como el carrizo, las mismas que necesitan poco agua para su desarrollo y manutención. Ver fotografías del Anexo I-A.

#### 4.3.10 Situación actual de la infraestructura de la recarga artificial

Las 40 pantallas de infiltración distribuidas en 6km de longitud, están en buen estado de conservación debido a que la pendiente del cauce es baja y los materiales que se depositan por colmatación se caracterizan por ser predominantemente arenas finas y secundariamente están las gravas con los cantos rodados, más bien abundan los depósitos de arenas

En la zona de control de pendiente con pantallas de impermeabilización solo se depositan materiales finos, también se acumulan importantes volúmenes de detritos pero de composición de arenas y se encuentran poblados de vegetación arbustiva tal como se puede ver en las fotos. En observaciones aguas arriba de la obra de captación se observa la deposición de materiales arenos gravosos y no se observa mayormente materiales gruesos. La pantalla final aguas abajo ha sido afectada por erosión regresiva al grado que a llegado hasta la base de la cimentación, para contrarrestar el efecto erosivo SEDAPAL ha colocado fragmentos de roca lo cual está evitando el deterioro. Y tienen previsto efectuar más trabajos de protección.

Esta zona requiere mantenimiento del sector de las pantallas a fin de que la infiltración sea la esperada. Al igual que en el Rímac el mantenimiento es efectuado periódicamente y por sectores.

## 4.4 DIAGNOSTICO SITUACIONAL DE RECARGA DEL ACUIFERO RIO SECO

### 4.4.1 Introducción

El Ministerio de Agricultura preocupado por el déficit de agua para riego en las Pampas de Villacurí está desarrollando estudios para superar el problema deficitario de agua, con la utilización de los excedentes de agua de escorrentía superficial de la cuenca del río Pisco mediante obras de transvase y recarga de acuífero. Esto conjuntamente con la Autoridad Regional con el denominado Proyecto de Afianzamiento Hídrico en la cuenca de río Seco.

### 4.4.2 Antecedentes

Se han realizado diversos estudios en el área de Pisco – Villacurí, destacan los desarrollados a inicios de los noventa por TAHAL, IECO, Ministerio de Fomento y Obras Públicas y CORDEICA; en 1990, el proyecto Especial Sur Medio (INADE), plantea tres esquemas de derivación de aguas del Pisco hacia las pampas entre Pisco e Ica, priorizándose las áreas de Villacurí y Lanchas.

En 1992, el mismo proyecto, elabora el “Diagnóstico Hidrogeológico y Operación del Reservorio Acuífero de la pampa Villacurí”, con el fin de evaluar la reposición de las reservas acuíferas ya deprimidas en esa época.

El Proyecto Sur Medio a nivel de reconocimiento, plantea en las alternativas, la construcción de un canal madre de más de 100 km desde el sector de Huancano (1 000 msnm) hasta un posible vaso de almacenamiento en la quebrada de La Polvareda, en donde con un dique de 1 800 metros de largo y un altura de 200 m podría almacenar alrededor de 220 MMC; el reservorio de Achupallas con capacidad de 200 MMC y altura de presa de 100 m.

Actualmente el Gobierno Regional en Convenio con el Ana están realizando Estudios con el fin de tener costos Reales.

#### **Objeto del estudio**

Garantizar el abastecimiento de agua de riego a las zonas de Pampas Villacurí, Lanchas y compensar el déficit hídrico del valle del río de Pisco, mediante la regulación en el Embalse Polvareda de las aguas de excedentes del río Pisco así como mediante la recarga del acuífero Villacurí con Posas de infiltración deliberada, con el fin de recuperar y mejorar las características de las aguas del reservorio en calidad y volumen en base a la referida recarga artificial.

### 4.4.3 Planteamiento hidráulico general

El proyecto Integral consiste de un planteamiento hidráulico siguiente: Obra de captación de 30m<sup>3</sup>/s en Huancano a 1050msnm, conducción mediante canal de 62km aproximadamente hasta Embalse Polvareda en Río Seco (120MMC aprox), luego con 10km de Canal de Conducción (15m<sup>3</sup>/s ) desde Embalse La Polvareda a Zona de Recarga de Acuífero Río seco.

De Embalse la Polvareda 1 canal de 5km (4,1m<sup>3</sup>/s) al río Pisco para compensar el déficit hídrico del valle de Pisco y en época de estiaje para suministrar 1m<sup>3</sup>/s al Canal Chunchanga, y mejoramiento del mismo. El detalle de la Ubicación y Planteamiento Hidráulico figura en la Lámina N° 21.

#### **a) Pozas de recarga o infiltración.**

Dichas pozas serán proyectadas sobre un área de 826 has aproximadamente, las aguas conducidas por el canal “La polvareda – Río Seco” continuarán aguas abajo por el lecho del Río Seco, posteriormente ingresaran a las pozas de recarga, las que a su vez alimentarán el acuífero de las Pampas de Villacurí y Lanchas.

Lamina 21

Las pozas se ubicarán a una altitud promedio de 615 msnm, el área identificada limita con los terrenos que actualmente están siendo habilitados, con fines agrícolas, en las pampas de Villacurí. Actualmente se están realizando perforaciones de pequeño diámetro con fines de obtener los parámetros hidráulicos y geotécnicos de diseño definitivo (Pozo N° 71). Ver Lámina N° 22.

#### **b) Parámetros y valores considerados para el diseño.**

Actualmente se tiene un modelo inicial de recarga de acuífero el cual seguramente será ajustado y/o replanteado con los estudios que se están realizando. Los parámetros del modelo inicial son los siguientes:

- Superficie total del acuífero: 366 km<sup>2</sup>
- Espesor total del acuífero: entre 60 y 230 m
- Espesor saturado: de 20 a 180m
- Transitividad: 1,5 a 4,3 x 10<sup>-2</sup> m<sup>2</sup> /s
- Permeabilidad: 0,8 a 6 x 10<sup>-3</sup> m /s
- Coeficiente de almacenamiento: 0.3 a 9 %
- Profundidad de la napa: de < 5 metros hasta 100 m
- Profundidad pozos tubulares: 70 a 160 m
- Rendimiento de los pozos de < 20 a 85 l/s
- Total de pozos 681
- Explotación al año 2002: 90,56 MMC (4 m<sup>3</sup> /s)

#### **c) Reservas totales y explotables**

En la determinación de las Reservas propiamente dicho, un aspecto importante lo constituye la realización de un Balance Hídrico de los acuíferos; para lo cual se hace necesario contar con la información del intercambio directo existente entre el acuífero y los cursos de agua superficiales, el intercambio indirecto, el realizado a través de la zona no saturada entre las áreas de cultivo y el acuífero y el intercambio debido a conexiones con acuíferos vecinos; toda esta información correspondiente a un espacio físico delimitado y para un tiempo estipulado.

En el presente caso, el acuífero no cuenta con recursos hídricos de recarga superficiales, naturales, ni artificiales. Río Seco solo ante una situación excepcional de lluvias presenta flujo superficial, y el riego en la zona es manejado por goteo por lo que el flujo hacia el acuífero es reducido, la alimentación en este caso se realiza de los acuíferos vecinos, el de Ica y probablemente de Pisco

De acuerdo a los estudios realizados por TAHAL en 1967 y el Modelo Preliminar realizado por la Intendencia de Recursos Hídricos en el 2006, la recarga del acuífero de Villacurí sería del orden de los 70 MMC, siendo las Reservas Totales calculadas en el Estudio del 2002, de aproximadamente 650 MMC.

Las Reservas Totales se encuentran conformadas por las Reservas de explotación las cuales consideran la denominadas Reservas Reguladoras más una parte de las Reservas Totales, que nos permita suplir las necesidades de agua de la zona pero sin afectar el recurso hídrico subterráneo; para este nivel de estudio, se pueden considerar los volúmenes de explotación equivalentes al 20 % de los volúmenes totales; es decir un máximo de 130 MMC.

Si tomamos los datos existentes de Reservas Totales de 650 MMC y una recarga natural de 70 MMC, en forma teórica podemos decir que la explotación no debería ser mayor de estos 70 MMC; sin embargo, de acuerdo al último censo realizado a fines del 2007, y todavía con datos preliminares, se ha obtenido un volumen de explotación de aproximadamente 160 MMC. Con estos datos y en forma referencial podemos decir que de no mejorarse las condiciones de recarga, año a año los volúmenes de agua almacenada se irían reduciendo con el concebido aumento de la salinidad de las aguas. Sin considerar la salinización progresiva de las aguas, a estos niveles de explotación y recarga al cabo de 7 años se habían extinguido en forma irreversible el acuífero de Villacurí, colapsando el abastecimiento de las aproximadamente 13 000 has en cultivo.

lamina 22

"Diagnostico Situacional de Recarga de Acuíferos"

Cuadro N° 23  
Resumen de Resultados de las simulaciones de Recarga Artificial

POZOS DE CONTROL	SIN RECARGA			CON RECARGA ZONA 1 (50 MMC /AÑO)			CON RECARGA 2 ZONA 1 (100 MMC /AÑO)			CON RECARGA 2 ZONA 1 (100 MMC /AÑO)			CON RECARGA ZONA 1 (200 MMC /AÑO)		
	Q explot. (m <sup>3</sup> /s)	NE (msnm)	Dif. NE (m)	Q explot. (m <sup>3</sup> /s)	NE (msnm)	Dif. NE (m)	Q explot. (m <sup>3</sup> /s)	NE (msnm)	Dif. NE (m)	Q explot. (m <sup>3</sup> /s)	NE (msnm)	Dif. NE (m)	Q explot. (m <sup>3</sup> /s)	NE (msnm)	Dif. NE (m)
Villacurí 142															
10 años	4,0	345,8	11,9	4,0	358,8	_1,1	4,0	368,1	_10,4				4,0	385,0	_27,3
10 años							5,0	364,5	_6,8	5,0	363,8	_6,1			
10 años				5,0	354,8	2,9	6,0	358,7	_1				6,0	372,2	_14,5
10 años													7,0	372,4	_14,7
Villacurí 264															
10 años	4,0	302,6	9,9	4,0	309,9	2,6	4,0	315,9	_3,4				4,0	358,8	_46,3
10 años							5,0	308,8	3,7	5,0	327,1	_14,6			
10 años				5,0	303,7	8,8	6,0	300,3	12,2				6,0	348,4	_35,9
10 años													7,0	341,4	_28,9
Villacurí 530															
10 años	4,0	311,1	11,4	4,0	318,2	4,3	4,0	323,7	_1,2				4,0	348,5	_26
10 años							5,0	319,7	2,8	5,0	325,8	_3,3			
10 años				5,0	313,5	9,0	6,0	312,3	10,2				6,0	338,5	_16
10 años													7,0	332,6	_10,1

La situación en Lanchas de acuerdo a la información parcial con la que se cuenta, nos permite decir que las Reservas se encuentran disminuyendo año a año; en el Cuadro siguiente podemos observar el comportamiento de algunos pozos en cuanto a descenso de niveles y calidad de las aguas producidas.

Cuadro N° 24  
Variaciones de niveles de agua y calidad en algunos pozos de Lanchas  
Octubre 2005 a Enero del 2007

Nº IRHS	PROF. POZO	VARIACIÓN NIVEL DINÁMICO		VARIACIÓN NIVEL ESTÁTICO		VARIACIÓN C.E. uS	
71		15,32	17,42	12,3	14,06	828	830
73	24,2	16,2	18,96	14,32	17,00	1505	2000
77	33,5	24,2	24,65		11,98	244	371
83	24,7	18,5	19,76		16,30	1311	1616
87	29,0	25,8	26,05	22,00	22,65	950	1020
198	26,5	16,8	21,06		16,83	1851	2170
240	29,0	16,5	21,66	11,05	11,50	1470	3030

Los niveles estáticos de los 7 pozos observados han descendido desde 0,45 m hasta aproximadamente 3 metros, teniendo los pozos solamente una columna de 3 a 8 metros a fines de enero del 2007; es decir que de continuar el descenso a una tasa promedio de 1 metro por año y una columna de agua de 5 metros, muchos de los pozos deberán ser reprofundizados con el problema de alcanzar en algunas zonas la Formación Pisco, de origen marino y salobre; así mismo, la concentración de sales solubles se ha incrementado desde 3 uS hasta 1560 uS en el período controlado.

#### 4.4.4 Sistema de recarga

Existen una serie de métodos de recarga, los cuales son empleados de acuerdo a las condiciones existentes en cada zona y a los aspectos técnico económicos involucrados.

Para el caso de Río Seco se ha considerado la Recarga Artificial a través de Pozas de Infiltración o Estanques de Inundación, los cuales se instalarían en los cauces del Río Seco y la Qda La Pólvora, dado que se considera que el perfil del suelo bajo estos cauces antiguos, ha sido convenientemente lavado y no se presentarían problemas de contaminación por sales, en los horizontes atravesados.

Este método implica el paso del agua desde la superficie a través de la zona no saturada al acuífero. El término de “infiltración” expresa este movimiento esencialmente vertical expresado en m<sup>3</sup>/día por m<sup>2</sup>.

El movimiento descendente está regido por una gran variedad de factores:

- La permeabilidad vertical del suelo
- La presencia de gases en la zona no saturada
- La presencia de capas de poca permeabilidad vertical
- Los cambios que afectan la estructura del suelo durante la infiltración, cambios originados por influencias físicas, químicas y bacteriológicas.

Estos cambios se producen por los mecanismos siguientes:

La primera disminución transitoria del ritmo de infiltración es debido al hinchamiento de las partículas arcillosas; el aumento transitorio inicial hasta un máximo temporal es debido a la eliminación gradual del gas del suelo; los cambios posteriores se debe en parte a la destrucción física-química del perfil natural (dispersión), pero

principalmente al crecimiento de bacterias y a la acumulación de productos de su metabolismo, a poca profundidad debajo del terreno de inundación. Puesto que la capa de infiltración queda efectivamente destruida por oxidación, hay que secar periódicamente los terrenos con el objeto de restaurar su capacidad de infiltración, por lo que se necesitan mayores áreas que las calculadas inicialmente mediante cálculos sencillos.

Experimentalmente se ha determinado el accionar de las bacterias, infiltrando agua clorada, no habiéndose observado disminución en los ritmos de infiltración.

Los estanques deben tener el fondo aproximadamente plano, debiendo disponerse en forma de redes, de modo que el agua en exceso pase de tanque en tanque. Se puede aliviar el problema del limo usando parte de los estanques para sedimentación; en Los Ángeles – California se redujo el contenido de limo de 3 000 ppm a 250 ppm con un estanque de sedimentación; se puede aumentar la infiltración mediante el uso de floculantes. El agua en los estanques presentan profundidades de 0,25 a 2,5 m.

El uso de los tanques es intermitente, para permitir que luego de la infiltración el tanque se seque y pueda recuperar su capacidad de infiltración.

#### 4.4.5 Planteamiento del proyecto de recarga artificial

##### a) Procedencia del agua

Derechos de agua (Reservas de agua en la pre inversión)

Responsabilidad potencial (problemas jurídicos de las expropiaciones, problemas de montículo de agua dulce cerca de la superficie del terreno)

Efectos sobre la administración de los estanques de aguas subterráneas  
Efectos sobre la calidad de las aguas

Investigaciones (que generalmente implican la exploración de las condiciones geológicas e hidrogeológicas) para comprobar la viabilidad del plan.

##### b) Esquema del Sistema

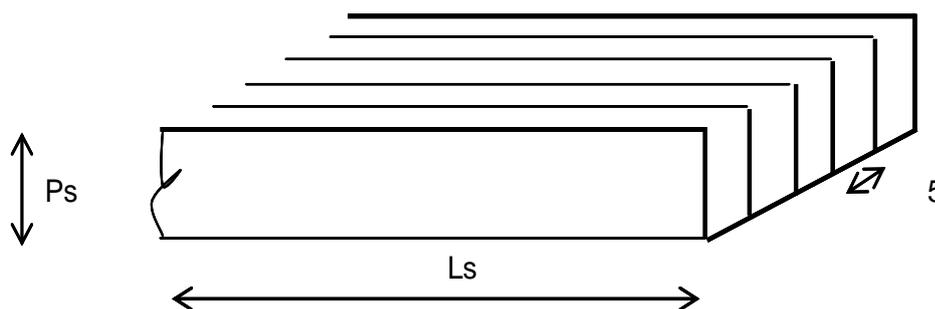
- Fuente de agua: 15 m<sup>3</sup> /s del río pisco (periodo en meses)
- Propósito: Elevación del nivel de agua de la napa y disminuir por dilución el contenido de sales solubles.
- Acuífero: Material aluvional constituido por arenas sueltas de diferente granulometría, gravilla y cantos rodados medianos, con lentes de limos y arcillas en diferente proporción y eólicos de cobertura,
- Transmisividad: 400 a 8000 m<sup>2</sup> /día
- Coeficiente de almacenamiento: 1,16 a 12,10 %
- Calidad del agua: Agua de recarga: Conductividad- 100a 400 uS/cm; Alcalinidad total – 70 a 180 ppm; sólidos en suspensión 10 mg/l Agua subterránea: conductividad: 500 a 5000 uS/cm.
- Tratamiento del agua: Desarenador, tratamiento con floculantes, potabilización del agua.
  - Infiltración: 1,2 m/día ( 50mm/hr)
  - Evaporación: 3 mm/hr
- Eficiencia: 0,75 %, (considerando problemas de estratos arcillosos, napas colgadas, presión de aire, interconexiones, etc.)
  - Etapas de implementación: El volumen a ser infiltrado sería de 120 MMC aproximadamente a través de 153.19 ha de pozas de infiltración agrupadas en módulos de 10 ha c/u.
  - Características de la recarga: Módulos de 10 ha, tirante 1,5m, tiempo de llenado: 41,7hr, tiempo de infiltración 75 hrs, tiempo de mantenimiento 5 a 10 días, tiempo total del ciclo 9,9 a 14,9 días.
  - Área total de recarga: De 310,8 a 468,3 (tiempo de mantenimiento de 5 y 10 días)
  - Área total del sistema: De 319,8 a 480,3 ha (incluye área de servicios, caminos, etc.)

**c) Diseños de las obras.**

Sedimentador:

Considerando un área de infiltración de 320 ha y las concentraciones supuestas a este nivel para los períodos de avenidas en aproximadamente 5 gr/l, se plantea la construcción de un sedimentador de las siguientes características:

Sección tipo del sedimentador

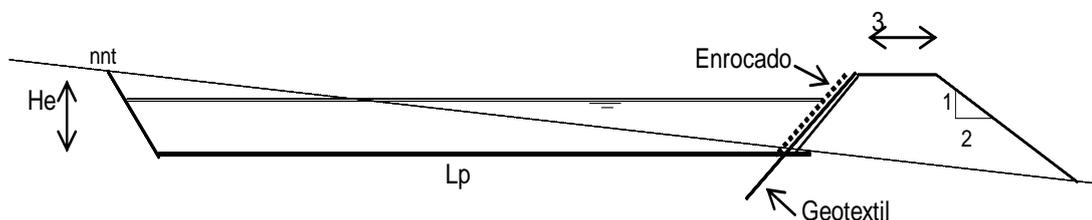


Longitud del sedimentador	Ls = 50m	
Profundidad	Ps = 3m	
Ancho de La Nave	An = 5m	
Numero de naves para	Q = 15m <sup>3</sup> /s	n= 10 naves
	Q = 13m <sup>3</sup> /s	n= 8 naves
	Q = 2m <sup>3</sup> /s	n= 2 naves

Poza de infiltración

Se presenta un diseño tipo de una poza de infiltración, en la siguiente etapa del estudio, con topografía al detalle de la zona de cauce del Río Seco, se diseñarán adecuadamente las pozas.

Sección típica de poza de infiltración



- Longitud:de poza	Lp	200 m
- Profundidad de excavación	He	3 m
- Ancho de la poza	Ap	50 m
- Area de corte	Ac	10,000 m <sup>3</sup> /ha
- Area de relleno de bordo	Ar	700 m <sup>3</sup> /ha
- Geotextil	Ge	225 m <sup>2</sup> /ha

Cuadro N° 25  
Costo estimado de Operación de Obras

Personal				207000
Ingeniero	Mes	12		72000
Ayudantes de campo (5)	Mes	90		135000
Materiales				712800
Floculante	tn	135		324000
Energía eléctrica	día	90		388800
Maquinaria y equipos				1 439 740
Camioneta doble tracción	Mes	12		48000
Tractor agrícola con rastra	h-m	61,440		1 228 800
Cargador frontal	h-m	266		39 900
Camión volquete 10 m3	h-m	532		117 040
Equipos menores	Mes	3		6 000
			Costo Directo Est.	S/.
				2,359,540
			G.G.	235,954
			Utilidad	235,954
			IGV	537,975

#### 4.4.6 Resultados

En la actualidad las actividades de estudio del Proyecto Integral están procesando la información de campo.

##### a) Problemas

Los problemas o deficiencias se presentarán cuando esté ejecutado el proyecto, debe de evitarse la sedimentación de finos, para ello los diseños contemplarán pozas de limpia o sedimentación previa antes de que las aguas ingresen a las pozas de recarga artificial; el agua debe de ingresar en lo posible limpia de sólidos.

La mayoría de problemas que se pueden presentar en una Recarga Artificial, se encuentran relacionados principalmente con:

- La calidad de las aguas crudas de la recarga que generalmente requieren un tratamiento para su aplicación.
- El contenido de limos reviste especial importancia, variando su concentración de acuerdo al régimen del río; se han observado cantidad de limos elevada de hasta 25 g/l en ríos estacionales (25 000 toneladas en 1 millón de metros cúbicos.

Normalmente se habla de 3 a 8 g/l durante las avenidas). Experiencias en Israel y USA muestran que se consigue una reducción de la turbidez de unos 300 a 1 000 mg/l demorando durante 2 a 3 días la afluencia en depósitos de retención de 5 m de profundidad – (método más barato para reducir el contenido de limo); esto se puede complementar con floculantes como el alumbre (100 a 150 mg/l) o algunos polímeros específicos.

Normalmente se acepta agua con menos de 1 gr/l de sólidos en suspensión (las aguas del río Jequetepeque en avenidas presenta un máximo de 10 gr/l y el río Piura máximos de 5 gr/l).

Los métodos para remediar o reducir al mínimo el efecto de obturación por materia en suspensión se pueden clasificar en:

- Remoción periódica de la torta de lodo y rascado de la capa superficial
- Instalación de un filtro el cual hay que quitar y renovar periódicamente o sin renovar aspirar los lodos cuando se encuentren aún en su fase líquida (Illinois USA) con un aspirador de piscinas; también aplicando productos químicos y materias orgánicas para restaurar la capacidad de infiltración.
- La obturación por actividad biológica, dependiente de la composición mineralógica y orgánica del agua, del suelo y del tamaño del grano y la permeabilidad del suelo. El mejor tratamiento desarrollado consiste en secar completamente el estanque después de períodos de operación cortos (no mayores de un mes).
- Cambio en la estructura del suelo y los fenómenos biológicos que se producen cuando se inicia la infiltración.
- Con los cambios producidos en las condiciones ambientales
- Con los aspectos legales y de propiedad del terreno.

#### **b) Problemas Ambientales**

El principal problema se centra en existencia de extensiones de terreno posible a inundarse en cotas más bajas, pudiendo generar probablemente la presencia de una variedad de incomodidades biológicas. Recomiendan que el mejor tratamiento es operar con partes de los terrenos de inundación en secuencia, de modo que el agua permanezca un período menor que la etapa de larva del ciclo vital del insecto.

Otros problemas podrían considerarse como los aspectos de seguridad ante la presencia de personas y niños especialmente, que pudieran ingresar al área de estanques.

El manejo adecuado de la elevación de niveles de la napa para evitar inundaciones en algunas zonas que puedan afectar ecosistemas o usuarios, debe ser convenientemente manejado, a través de un modelo, adecuadamente calibrado.

#### **c) Aspectos Económicos**

El almacenamiento y la recarga artificial de las aguas subterráneas son económicos mientras sean menos costosos que cualquier otra solución para hacer utilizables los recursos hidráulicos.

Consideraciones en la determinación del costo en pozas de infiltración:

- Desvío de agua de corrientes superficiales
- Transporte del agua a la zona de recarga
- Mediciones de caudal
- Retener el agua dentro de la zona de recarga y controlar el flujo a través de ella
- Manejar y conservar las instalaciones eficientemente y con seguridad

## 5.0 CONCLUSIONES

Las experiencias tomadas de **RECARGA INDUCIDA** que se está realizando con SEDAPAL en los acuíferos de los valles del Rio Rimac y Rio Chillón son importantes para la aplicación en valles de nuestra costa peruana, teniéndose en cuenta que la perdida comprobada es de millones de M<sup>3</sup> en el Océano Pacífico, esto debido a la fuerte pendiente de los cauces que discurren del flanco occidental de la cordillera Andina , este método conjugado con la construcción de obras de represamiento permitiría un manejo técnico del uso del recuso hídrico en compensación al crecimiento descontrolado de nuestra población en las ciudades de la costa a lo cual se suma el efecto migratorio de la población de la sierra hacia las ciudades de la costa . Con este objeto se toma las experiencias de SEDAPAL en los ríos de Rimac y Chillón para ser considerados para el resto de los valles de nuestra costa.

SEDAPAL está controlando y realiza evaluaciones de la operación y/o funcionamiento de los sistemas de recarga en los ríos Rímac y Chillón, lo cual ha permitido desarrollar los temas que se insertan en la parte de recarga artificial de acuíferos con el ánimo de proyectar estas experiencias al resto de acuíferos del País que requieren de alimentación ya sea por causas de sobreexplotación o mantener los niveles adecuados de la napa acuífera para una apropiada extracción y uso del agua subterránea.

Mas bien en el caso del Proyecto de Recarga - Rio seco se indica que aún se está desarrollando actividades de campo para completar el estudio integral del cual es parte la referida recarga en beneficio de las áreas de cultivo de pampas Villacurí.

A continuación se resume las Conclusiones y recomendaciones de las recargas de acuíferos en los valles Rimac, Chillón y Rio Seco.

### 5.1 RECARGA DEL ACUIFERO RIMAC

Actualmente se recarga 4,12 MMC. La recuperación del nivel de la napa en periodos de avenidas del rio es registrado en 19 pozos de monitoreo construidos para el Proyecto. Sin embargo, el volumen de agua que actualmente se recarga (4,12 MMC) es insuficiente por falta de una perfecta conexión hidráulica entre la napa y el río.

La adecuada conexión hidráulica requiere que la napa por debajo del lecho del rio se encuentre entre los 5 y 10 m de profundidad.

Debe implementarse campo de pozos de extracción – recarga distribuidos adecuadamente sobre extensión de área prevista. La distribución de pozos debe ser preferentemente en dos líneas.

El bombeo de los pozos de extracción \_ recarga, en la margen izquierda, disminuye en los periodos de avenida debido al programa de uso conjuntivo, más bien lo recomendable es que dichos pozos deberían operar más intensivamente en estos periodos para obtener mejores resultados.

Aun no se ha evidenciado la contribución de las pantallas transversales en el proceso de recarga, debido probablemente el hecho de que estos quedan enterrados durante los periodos de avenida y/o que el volumen de extracción a través de los pozos de extracción – recarga es aún insuficiente con relación a la capacidad potencial de infiltración del lecho del rio.

Para una mejor efectividad de la recarga artificial inducida se recomienda:

- Mantener permanentemente el lecho del rio libre de sedimentos finos, utilizándose métodos apropiados para su remoción y cuidando que con las operaciones no se provoquen daños irreversibles a su capacidad de infiltración por colmatación y en compactación del lecho del rio en capas cada vez más profundas.

- Incrementar cuidadosamente en la margen derecha la explotación del acuífero en proximidades del río de acuerdo estudios previos, a través de modelos de simulación específicos, para lograr la mejor disposición de los campos de pozos de extracción – recarga, los periodos de bombeo y los regímenes más convenientes.
- Los pozos de extracción – recarga deben bombear intensivamente durante los periodos de avenida.
- El nivel de la napa está muy por debajo del lecho del río.
- La recarga artificial inducida se logra con una conexión hidráulica directa entre la masa de agua del río y la napa acuífera.
- El proyecto Piloto no estaría presentando la condición más favorable, por lo que es necesario propiciar la recuperación del nivel de la napa en los periodos de estiaje.
- Así mismo deberá considerarse la posibilidad de incrementar la infiltración a través de otros sistemas como el de recarga por medio de pozos secos que se construirían en sectores estratégicos de ambas márgenes del río.
- Al nivel de la información actual, la recarga artificial se produce predominantemente por efectos de inducción del bombeo de los pozos de **extracción – recarga** en el periodo de avenidas, no se aprecia la contribución notable en la recarga de las pantallas transversales construidas en el lecho del río, por lo que se recomienda:
- Estricto programa de limpieza, nivelación y remoción de materiales arrastrados por el río durante el periodo de avenidas.

## 5.2 RECARGA DEL ACUIFERO CHILLON

Es posible derivar 2 m<sup>3</sup>/s de aguas superficiales en el periodo entre los meses de Diciembre y Abril, y 1 m<sup>3</sup>/s de las aguas subterráneas durante el estiaje sin modificar en forma apreciable el régimen hidrológico del acuífero.

Los estudios hidrogeológicos han sido realizados a partir del análisis de los datos estratigráficos, geofísicos, pruebas de bombeo, análisis físicos-químicos de aguas superficiales y subterráneas y de algunos modelos de simulación hidrodinámica del comportamiento de la recarga inducida, de la napa y del acuífero.

En 28 pozos perforados se ha atravesado formaciones aluvionales con una profundidad máxima de 150 m sin alcanzar el basamento rocoso. Todos los pozos son con tubería ciega y filtros de longitud variable entre el 30 y 40% del entubado.

Según geofísica hay dos horizontes principales. El superior presenta valores entre 100 y 150 Ohm-m con puntas hacia 240 Ohm-m (valores de alta permeabilidad) o terrenos gruesos saturados. El sector inferior está caracterizado por resistividad menor, alrededor de 30 Ohm-m. Con las perforaciones no se ha encontrado esta subdivisión, más bien se ha encontrado prácticamente un solo cuerpo de depósitos aluviales conformados por cantos rodados, grava, arena más o menos fina y algún nivel de arcillas entremezclados entre ellos.

El espesor del acuífero saturado varía en promedio entre 90 y 145 m.

Medidas diferenciales de caudal del tramo fluvial entre el puente Punchauca y Osoynik demuestran disminución de caudal, por lo tanto, una infiltración del orden de 640 l/s. Equivalentes según Tahal por el periodo estudiado, a 17 Mm<sup>3</sup>/año. A este caudal subterráneo se agregan 7 Mm<sup>3</sup>/año por infiltración en el área de agua arriba. El valor de transmisividad en este tramo subterráneo donde cruzan 24 Mm<sup>3</sup>/año, se calcula en el orden de 5 x 10<sup>-2</sup> m<sup>2</sup>/s. Este valor se presenta como el mayor del promedio de los valores de transmisividad calculados durante las pruebas de caudal y mejor para el efecto de recarga en la zona del río.

Los datos obtenidos indican una posibilidad remota de alcanzar el nivel dinámico máximo en tiempo breve, especialmente después de una optimización del sistema de recarga artificial.

La reducción de caudal calculado en el modelo debido al descenso máximo podrá, ser satisfecha con algunos pozos fuera de bombeo por exceso de producción (unos 300 l/s).

El propósito último del proyecto es el tratamiento del cauce del Rio Chillón para el aprovechamiento de un volumen promedio de 18 Mm<sup>3</sup>/año en la temporada de avenida, tratando la cuenca aluvial como reservorio subterráneo de regulación anual.

Considerado el elevado costo de la adquisición de los terrenos de cultivo y su reconversión como lagunas, se ha estudiado la posibilidad de mejorar las condiciones de infiltración del lecho del rio por unos 6 Km, con el posicionamiento óptimo de pantallas transversales.

El proyecto de arreglo del curso del rio consiste en la utilización de lechos de infiltración desde unos 500 metros aguas arriba de la Bocatoma y termina a la misma altura del pozo 1 con la construcción de 42 pantallas.

Los valores de infiltración son alrededor de 1 m<sup>3</sup>/día/m<sup>2</sup>, conservadoramente se considera el valor 0,4 m<sup>3</sup>/día/m<sup>2</sup>. considerando la duración de la estación de avenidas de 120 días, con caudal mínimo de 5 m<sup>3</sup>/s, resulta que con un área del cauce tratada de unos 80 ha, se obtiene un volumen infiltrado de:

$$\text{Vol} = 0,4 \times 120 \times 800000 = 38,4 \text{ Mm}^3.$$

El solo trabajo de nivelación no es suficiente para garantizar una distribución uniforme de las aguas sobre toda la superficie de los lechos de infiltración, dado la natural disposición del rio a excavarse en su propio recorrido.

Teniendo en cuenta conservadoramente que la superficie cubierta por las aguas después del tratamiento del cauce podría reducirse en el 60% el volumen de infiltración resulta:

$$\text{Vol} = 0,4 \times 120 \times 480000 = 23,0 \text{ Mm}^3.$$

Suficiente para recargar el volumen bombeado por los pozos.

Al igual que el Rio Rímac, el mayor problema es en el período de las avenidas la geometría del cauce del rio está completamente modificada, haciéndose necesario llevar a cabo un estricto programa de limpieza, nivelación del fondo del cauce e incremento de la infiltración para escarificación del sedimento fino depositado.

El monitoreo de la infiltración inducida es realizado con una serie de piezómetros a todo lo largo del campo de pozos, para confrontar el descenso provocado por el aprovechamiento con el causado por el natural comportamiento de la napa en estiaje.

### 5.3 RECARGA DEL ACUIFERO RIO SECO

La recarga del acuífero Rio Seco es parte de un proyecto integral que utilizará las aguas excedentes en los periodos de lluvias del valle pisco, se está estudiando con trabajos de campo y gabinete. Las actividades relativas a las obras siguientes de transvase:

- Captación en Huancano para 30m<sup>3</sup>/seco
- Canal de 62 km desde Huancano hasta la zona de Embalse polvareda.
- Canal de 10 km de longitud, llevará las aguas desde zona de embalse Polvareda hasta el área de recarga en Rio Seco.

- Luego un canal de 5 km para 4,1 m<sup>3</sup>/s desde el embalse polvareda hasta el rio Pisco para compensar el déficit hídrico del valle Pisco en época de estiaje. Suministrar al canal Chunchanga 1m<sup>3</sup>/s y mejoramiento del mismo.

El área de recarga se ubica en materiales de la quebrada Rio Seco, la quebrada se caracteriza por haber transportado materiales gravosos y probablemente son de naturaleza gruesa se prevé tener gravas y arenas con fragmentos de carácter aluvional.

## 6.0 RECOMENDACIONES

El recurso hídrico subterráneo en el país aún no tiene el manejo adecuado pues siendo este un recurso complementario al uso de las aguas superficiales no deja de tener importancia relevante en los valles pues el mal uso da lugar a una sobreexplotación y en el caso contrario deviene en sobresaturación de los suelos con consecuencias de un mal drenaje produciéndose inundaciones por la elevación del nivel freático por encima de la superficie de los suelos de cultivos.

El estudio e implantación adecuada de obras permitirán tener una buena agricultura con alta producción y de calidad.

Es recomendable la consideración de la recarga de acuíferos en valles con escaso aporte hídrico de las cuencas tales como: Valle Zarumilla, Valle Casitas, Pisco, Ica, Nazca, Chili, Sama y Caplina, sin embargo es preciso estudiar todos los valles de la costa, los mencionados son los que carecen de recurso hídrico subterráneo.

## BIBLIOGRAFIA

TAHAL CONSULTING ENGINEERS LTD, Recursos de Aguas Subterráneas del Departamento de Ica, Volúmenes I, II, III y IV, Tel Aviv, Israel, 1969.

OFICINA NACIONAL DE EVALUACIÓN DE RECURSOS NATURALES (ONERN), Inventario, Evaluación y Uso Racional de los Recursos Naturales de la Costa, Volúmenes I, II, Lima, Perú, 1971.

INSTITUTO NACIONAL DE AMPLIACIÓN DE LA FRONTERA AGRÍCOLA (INAF) Y CONCEJO PROVINCIAL DE PISCO, Informe Técnico Base para un Desarrollo Rural Integrado en la Provincia de Pisco, 1983.

MINISTERIO DE AGRICULTURA, DIRECCION GENERAL DE AGUAS Y SUELOS (DGAS), PROGRAMA NACIONAL DE AGUAS SUBTERRANEAS Y TECNIFICACION DE RIEGO (PRONASTER), Estudios específicos del Sector I – Mediante Prospección Geoeléctrica y Prospección Radiactiva Natural, Lima Diciembre 1991.

INSTITUTO NACIONAL DE DESARROLLO (INADE), PROYECTO ESPECIAL SUR MEDIO (PESM), Inventario y Evaluación de Fuentes de Agua Subterránea Pampa de Villacurí, Pisco Mayo 1992.

INSTITUTO NACIONAL DE RECURSOS NATURALES (INRENA), Monitoreo de la Calidad de las Aguas Superficiales de la Cuenca del Río Pisco, 1993.

DIRECCIÓN GENERAL DE ESTUDIOS Y PROYECTOS (DGEP) Del INRENA, Diagnóstico de Aprovechamiento de Aguas Subterráneas del Valle de Pisco, 1994.

INTENDENCIA DE RECURSOS HÍDRICOS DEL INRENA, Monitoreo de Aguas Subterráneas en el Valle de Pisco, 1999 y 2003.

INSTITUTO NACIONAL DE RECURSOS NATURALES (INRENA), Diagnóstico de las Aguas Subterráneas en el Perú, 2003.

INSTITUTO NACIONAL DE RECURSOS NATURALES (INRENA), OFICINA DE GESTIÓN AMBIENTAL TRANSECTORIAL EVALUACIÓN E INFORMACIÓN DE RECURSOS NATURALES (OGATEIRN), Diagnóstico Hidrogeológico Zona de Amortiguamiento Valle de Pisco, Lima, 2000.

INSTITUTO NACIONAL DE RECURSOS NATURALES (INRENA), Inventario de las Fuentes de Agua Subterránea, Valle Pisco, 2004.

INSTITUTO NACIONAL DE RECURSOS NATURALES (INRENA), INTENDENCIA DE RECURSOS HÍDRICOS (IRH), Prospección geofísica en el Valle de Pisco, Lima, 2005.

INSTITUTO NACIONAL DE RECURSOS NATURALES (INRENA), OFICINA DE GESTIÓN AMBIENTAL TRANSECTORIAL EVALUACIÓN E INFORMACIÓN DE RECURSOS NATURALES (OGATEIRN), Estudio Hidrogeológico Para la Zonificación de la Zona de Amortiguamiento de la Reserva Nacional de Paracas, Lima, Octubre del 2005.

## NOTAS TÉCNICAS

Evaluación y Análisis de Eduardo de la Cruz Reuche.

Recarga Artificial de Los Acuíferos d La Cuenca Río Seco.

Perfil - Afianzamiento Hídrico en la Cuenca de Río Seco – Región Ica.

Afianzamiento Hídrico de Las Pampas de Villacurí – Estudio Hidrológico –Lima –Enero del 2007 de Hugo Sovero Sovero.